
electricidad
teórico-práctica
Canalizaciones eléctricas
Líneas y centrales
Telecomunicaciones alámbricas
ediciones AFHA

electricidad
teórico-práctica

Este volumen V del tratado general de electricidad que AFHA ha lanzado bajo el título genérico de ELECTRICIDAD TEÓRICO PRÁCTICA aúna tres temas que escapan del dominio de lo que podríamos denominar estudios clásicos de la electricidad. El lector, en efecto, penetrará en un nuevo estudio donde todo aquello que atañe a soluciones técnicas queda informado por las grandes exigencias de seguridad que requiere la canalización y control de las corrientes de alta tensión.

Con las tres primeras lecciones de este volumen pretendemos informar al lector de cuanto es característico y fundamental de las instalaciones aéreas y subterráneas que canalizan la corriente eléctrica desde los puntos de producción (centrales) hasta los lugares de consumo. En otras lecciones hemos estudiado la instalación de consumo desde la acometida hasta el enchufe o interruptor que permitirá al usuario servirse a voluntad de la corriente que le llega a través del contador.

Ahora nos lanzamos a la calle (valga la expresión) para descubrir los detalles propios de las líneas que conducen la corriente hasta nuestros hogares, fábricas o locales de trabajo, a nuestros campos de deporte, hospitales, etc.

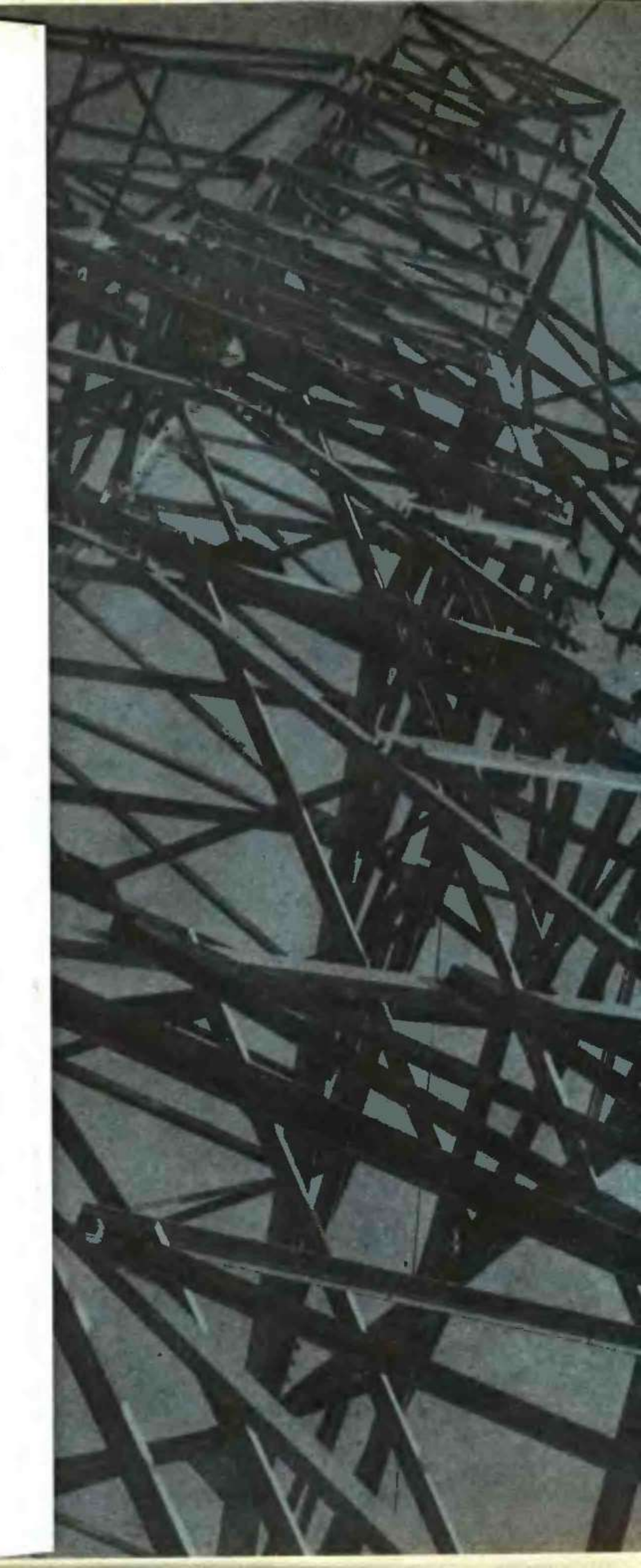
Nos izaremos hasta la cúspide de las grandes torres metálicas, excavaremos zanjas para explorar en ellas los cables subterráneos. Gracias a esta exploración podremos darnos cuenta de que las corrientes de alta tensión exigen grandes precauciones tanto en sus aislamientos como en sus conexiones. Veremos soluciones a problemas que son auténticos alardes técnicos.

Finalmente, después de una rápida visita a los distintos tipos de centrales que salpican la superficie de nuestro mundo, nos detendremos para hacer un estudio básico de la aparamenta que permite controlar tensiones tan elevadas que representarían un suicidio colectivo si las posibilidades técnicas puestas a nuestro servicio no viniesen a imponer su ley.

Como siempre, los cálculos que se refieren a estos temas están tratados a nivel suficiente pero sin pisar terreno superior, propio del ingeniero especializado. Completan el volumen dos lecciones destinadas a dar a nuestros lectores una visión fundamental, ordenada y directa de una especialidad tan significativa en el mundo actual como es el de las comunicanciones alámbricas : la telecomunicación.

En este volumen da principio un nuevo apéndice : la Electrometría, o ciencia de las mediciones eléctricas, tema fundamental que iremos desarrollando a lo largo de nuestro tratado como venimos haciendo con otros temas, tales como el de TALLER MECÁNICO y CONOCIMIENTO DE MATERIALES, familiares ya a nuestros lectores.

Esperamos y deseamos sinceramente que este nuevo apéndice que ponemos a la consideración de usted, lector amigo, represente una nueva etapa en su formación integral como técnico, que es lo que justifica la inclusión de nuestros apéndices dentro de unas lecciones que, nominalmente, sólo deberían tratar de electricidad. Vea si la nueva lección de TALLER MECÁNICO que complementa el presente volumen puede contribuir también a esta formación integral de que hablamos.



electricidad
teórico-práctica

método ideado para aprender electricidad por sí mismo

electricidad teórico-práctica

tomo V

Canalizaciones eléctricas
Líneas aéreas
Líneas subterráneas
Telecomunicaciones alámbricas

ediciones  barcelona

El método AFHA de

electricidad teórico-práctica

comprende los siguientes títulos:

Tomo I	**Fundamentos de la Electrotecnia - Instalaciones.**
Tomo II	**Electroquímica - Electromagnetismo - Instalaciones domésticas.**
Tomo III	**Corriente alterna y principios de máquinas de c. c. y c. a. Fundamentos de instalaciones industriales.**
Tomo IV	**Transformación de la corriente eléctrica. Instalación de máquinas eléctricas.**
Tomo V	**Canalizaciones eléctricas - Telecomunicaciones alámbricas**
Tomo VI	**Electricidad del automóvil**
Tomo VII	**Técnicas de la iluminación.**
Tomo VIII	**Tratado de aparatos electrodomésticos.**

Fotolitos de: REPROCOLOR, Casanova, 155 - Barcelona (11)
Impreso por: EMOGRAPH, S. A. Almirante Oquendo, 1 9 (Barcelona)

Depósito Legal; B. 567 - 1963

IMPRESO EN ESPAÑA PRINTED IN SPAIN

prólogo

Este volumen V del tratado general de electricidad que AFHA ha lanzado bajo el título genérico de ELECTRICIDAD TEÓRICO-PRÁCTICA, aúna tres temas que escapan del dominio de lo que podríamos denominar estudios clásicos de la electricidad. El lector, en efecto, penetrará en un nuevo estudio donde todo aquello que atañe a soluciones técnicas queda informado por las grandes exigencias de seguridad que requiere la canalización y control de las corrientes de alta tensión.

Con las tres primeras lecciones de este volumen pretendemos informar al lector de cuanto es característico y fundamental de las instalaciones aéreas y subterráneas que canalizan la corriente eléctrica desde los puntos de producción (centrales) hasta los lugares de consumo. En otras lecciones hemos estudiado la instalación de consumo desde la acometida hasta el enchufe o interruptor que permitirá al usuario servirse a voluntad de la corriente que le llega a través del contador.

Ahora nos lanzamos a la calle (valga la expresión) para descubrir los detalles propios de las líneas que conducen la corriente hasta nuestros hogares, fábricas o locales de trabajo, a nuestros campos de deporte, hospitales, etc.

Nos izaremos hasta la cúspide de las grandes torres metálicas, excavaremos zanjas para explorar en ellas los cables subterráneos. Gracias a esta exploración podremos darnos cuenta de que las corrientes de alta tensión exigen grandes precauciones tanto en sus aislamientos como en sus conexiones. Veremos soluciones a problemas que son auténticos alardes técnicos.

Finalmente, después de una rápida visita a los distintos tipos de centrales que salpican la superficie de nuestro mundo, nos detendremos para hacer un estudio básico de la aparamenta que permite controlar tensiones tan elevadas que representarían un suicidio colectivo si las posibilidades técnicas puestas a nuestro servicio no viniesen a imponer su ley.

Como siempre, los cálculos que se refieren a estos temás están tratados a nivel suficiente pero sin pisar terreno superior, propio del ingeniero especializado.

Completan el volumen dos lecciones destinadas a dar a nuestros lectores una visión fundamental, ordenada y directa de una especialidad tan significativa en el mundo actual como es el de las comunicaciones alámbricas: la telecomunicación.

El pequeño milagro de las comunicaciones telefónicas y telegráficas dejará de serlo para aparecer ante el lector como el resultado lógico de una serie de fenómenos provocados y controlados cuyo resultado final es la rápida comunicación oral o escrita entre los hombres de todas las naciones.
Son temas suficientemente atractivos para despertar el interés del electricista y que hemos tratado con la suficiente amplitud para que este libro pueda ser para él el trampolín desde el cual dar el salto decisivo que le lleve a una especialización que, ciertamente, requiere estudio y esfuerzo, pero que, sin duda, traerá grandes recompensas.
En este volumen da principio un nuevo apéndice : la Electrometría, o ciencia de las mediciones eléctricas, tema fundamental que iremos desarrollando a lo largo de nuestro tratado como venimos haciendo con otros temas, tales como el de TALLER MECÁNICO y CONOCIMIENTO DE MATERIALES, familiares ya a nuestros lectores.
Esperamos y deseamos sinceramente que este nuevo apéndice que ponemos a la consideración de usted, lector amigo, represente una nueva etapa en su formación integral como técnico, que es lo que justifica la inclusión de nuestros apéndices dentro de unas lecciones que, nominalmente sólo deberían tratar de electricidad. Vea si la nueva lección de TALLER MECÁNICO que complementa el presente volumen puede contribuir también a esta formación integral de que hablamos.

indice

Lección 23 - página 85

Centrales eléctricas. Centrales hidroeléctricas. Las turbinas. Central térmica. Central eléctrica con energía atómica. Equipo eléctrico usado en la instalación de ceutrales y subcentrales. Seccionadores o separadores. Accesorios para seccionadores. Accionamiento de los seccionadores. Interruptores. Interruptores de baja tensión. Interruptores de alta tensión. Fusibles o cortacircuitos. Fusible de alto poder de ruptura Siemens tipo NH. Cortacircuito de alto poder de ruptura tipo SN de Isodel Sprecher. Cortacircuito de alto porder de ruptura Hazemeyer Metron. Desconectadores fusibles. Cortacircuitos de gran poder de ruptura para alta tensión. Descripción del cortacircuitos Gardy para A.T. Pararrayos. Funcionamiento. Pararrayos de baja tensión. Pararrayos revar. Pararrayos Isodel Sprecher. Pararrayos de alta tensión. Pararrayos Isodel Sprecher para alta tensión. Pa:arrayos revar para alta tensión. Protección de máquinas y líneas. Relés primarios SA de AEG para interruptores de alta tensión. Relé primario HIZ de Oerlikon. Relés secundarios de sobreintensidad. Relé de máxima intensidad de retraso dependiente RSZA fabricado por AEG. Relé de tiempo independiente RSZ2f y RSZ3f de AEG. Relés de sobreintensidad de desconexión instantánea. Relés de mínima tensión o tensión nula. Relés de mínima tensión de acción temporizada. Transformadores de medida. Transformadores de intensidad. Transformadores de tensión. *Montaje e instalación de cuadros eléctricos.* Cuadros de plancha doblada. Cuadros blindados. Reglillas de bornes o regletas. Detalles propios de la instalación de cuadros. Pulsadores y lámparas piloto.

Lección 24 - página 141

Telecomunicaciones alámbricas. Acústica. Acústica teórica. Naturaleza del sonido. Clasificación de los sonidos. Cualidades del sonido. Acústica subjetiva y fisiológica. Sonidos puros y complejos armónicos. Sonidos musicales. Intensidad de un sonido, su apreciación por el oído. Límites de audición. Unidad de intensidad acústica subjetiva. Telecomunicaciones alámbricas. Telegrafía. Telegrafía sin reproducción de la forma. Sistemas telegráficos utilizados. Sistema a cinco momentos (sistema Baudot). Aparatos telegráficos. Aparato emisor. Aparato receptor. Tipos de aparatos telegráficos. Líneas de telecomunicaciones. Líneas aéreas. Cables para líneas de telecomunicaciones. Cables con aislamiento de papel y aire seco. Condiciones que debe reunir un cable bajo plomo. Composición y espesor de la cubierta de plomo. 1) Cable protegido con yute. 2) Cable armado con cinta de acero. 3) Protección con cinta de latón (a prueba de insectos). Ventajas de los cables bajo plomo en las líneas de telecomunicaciones. Clasificación de los cables. Cable urbano. Cable coaxial. Cable interurbano. Cable telegráfico. Hilos y cables para instalaciones interiores. Cables con aislamiento textil. Cables con aislamiento y cubierta textil. Canalización de cables. Cables submarinos. Cables submarinos con armadura externa.

Lección 25 - página 173

Telefotografía. Telegrafía con reproducción de las formas. Descripción de los aparatos franceses Edourd Belin. Vías de comunicación. Redes telegráficas. Traslaciones convertidoras. Traslaciones regeneradoras. Conmutación telegráfica. Conmutación automática. Principios de la telefonía. La voz y el oído humano. Transformación de las energías acústicas y eléctricas. Acústica aplicada al estudio de los aparatos telefónicos; constitución de los aparatos telefónicos. Misión del micrófono y del receptor telefónico. Características de los aparatos telefónicos. Nociones de telefotometría. Rendimiento o eficacia. Aparatos electroacústicos. Micrófonos. Definición del micrófono. Características de un micrófono. Curva de respuesta. Direccionalidad. Micrófonos de presión. Micrófonos de velocidad. Descripción y funcionamiento de los diversos tipos de micrófonos. Micrófono electrostático o de condensador. Micrófono electrodinámico. Componentes de un sistema telefónico. Transmisores de carbón. Receptores telefónicos. Clasificación de los sistemas telefónicos. Sistemas telefónicos públicos. Sistemas telefónicos privados. Equipo de abonado. Poste telefónico. Conmutación telefónica. Conmutación manual. Conmutador múltiple. Aparatos utilizados en un enlace telefónico. Anunciador o indicador de llamada. Anunciador de fin de conversación. Jack. Clavija. Llaves. Relés. Lámparas. Muebles. Circuitos telefónicos de batería local. Equipo de línea de abonado. Bicordio. Aparato o poste de operadora. Tipos de instalaciones de batería local. Centralitas telefónicas de batería local. Circuitos telefónicos de batería central. Alimentación de las líneas de abonado. Standard de batería central. Múltiple a batería central. Conmutación automática. Disco o cuadrante de llamada. Preselección. Relés. Circuitos eléctricos. Conmutadores. Equipo de la línea de abonado. Recepción de los impulsos. Test. Alimentación de las líneas de abonado. Combinadores. Tonos. Sistemas de conmutación automática. Sistemas paso a paso. Preselector. Selector. Características eléctricas de los selectores paso a paso. Desarrollo de la conmutación automática. Comunicaciones a gran distancia. Explotación interurbana semiautomática. Explotación interurbana automática. Instalaciones telefónicas privadas. Instalaciones telefónicas privadas, sin enlaces. Teléfonos autogeneradores. Interfonos (Standard Eléctrica, S. A.). Montaje de los interfonos. Dos interfonos de una línea empleando una sola batería de llamada y de micrófono.

apéndice I taller mecánico

Lección 8 - página 1

Limadora. Las herramientas. Descripción de la máquina. Fijación de las piezas. Influencia nociva de las velocidades excesivas. Principales datos característicos de una limadora. Cepilladora de puente. Descripción de la máquina.

apéndice IV electrometría

ELECTRICIDAD

Canalizaciones eléctricas

Cálculo de lineas

Lineas aéreas, Componentes y cálculo

Averias en lineas aéreas



LECCION Nº 21

canalizaciones eléctricas

1

LINEAS O CANALIZACIONES ELECTRICAS

Generalidades - Cálculo

LINEAS AEREAS

Generalidades - Cálculo

Materiales empleados en los tendidos de líneas aéreas

Montaje de las líneas aéreas

Averías de las líneas aéreas y su localización

LINEAS SUBTERRANEAS

Generalidades - Cálculo

Materiales empleados en los tendidos de líneas subterráneas

Montaje de las líneas subterráneas

Averías de las líneas subterráneas y su localización

PREVENCION DE ACCIDENTES Y PRIMEROS AUXILIOS

LINEAS O CANALIZACIONES ELECTRICAS GENERALIDADES

Nuestros conocimientos sobre esta fabulosa panacea del progreso que conocemos con el nombre de energía eléctrica nos han llevado al descubrimiento de los sistemas de producción y de las múltiples aplicaciones que su transformación en energía mecánica, térmica, lumínica, etc., nos proporciona; es decir, sabemos cómo se consume la energía eléctrica. Conocemos también las leyes que rigen los fenómenos eléctricos y la forma de medirlos. Para completar el proceso que sigue la energía eléctrica, desde su producción en gran escala hasta su aprovechamiento doméstico e industrial, nos falta *algo* que permita el transporte de esta energía desde las centrales productoras hasta los centros de consumo. Este algo son las líneas eléctricas que, en un símil hidráulico, equivalen a las tuberías o canalizaciones que unen los depósitos de agua con las viviendas.

Observemos las cercanías de una gran ciudad. Veremos grandes cantidades de torres metálicas (algunas veces estructuras de gran complejidad y otras de extremada sencillez), postes de hormigón o de madera que soportan kilómetros y más kilómetros de cables de cobre o aluminio sujetos a piezas de cristal o porcelana. Estos cables son los conductores eléctricos; y su conjunto es la línea, el camino por el cual se transportan enormes cantidades de energía eléctrica desde las centrales hasta los centros de distribución.

Sigamos observando la ciudad. No es difícil dar con brigadas de trabajadores dedicados a abrir zanjas en plena calle para dejar al descubierto gran cantidad de cables, que están enterrados debajo del pavimento. ESTOS CABLES TAMBIÉN SON LÍNEAS ELÉCTRICAS.

Así, pues, esta observación visual nos permite, en principio, establecer dos grandes grupos de líneas eléctricas: las LÍNEAS AÉREAS y las LÍNEAS SUBTERRÁNEAS. Unas y otras son las canalizaciones por donde discurre el fluido eléctrico.

UN CONJUNTO DE LÍNEAS, MÁS LOS APARATOS NECESARIOS PARA SU FUNCIONAMIENTO Y PROTECCIÓN, CONSTITUYE UNA RED DE TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

La gran importancia de estas canalizaciones eléctricas se deduce con facilidad. Son imprescindibles para la transmisión y distribución de la energía eléctrica.





CALCULO DE LAS LINEAS ELECTRICAS

Sin introducciones, muchas veces inútiles en cuestiones técnicas, vamos a abordar el tema del cálculo de las líneas aéreas. Es fácil supuesto el conocimiento de las leyes fundamentales de la electrotécnica.

SECCIÓN DE LOS CONDUCTORES

Se calcula determinando su calentamiento y la caída de tensión previsible en ellos.

El calentamiento de un conductor — es cosa sabida — depende de la intensidad de corriente que circula por él, SIENDO IGUAL A LA SUMA GEOMÉTRICA DE TODAS LAS CORRIENTES ABSORBIDAS POR LOS APARATOS DE CONSUMO ALIMENTADOS POR EL CONDUCTOR CONSIDERADO. La intensidad I absorbida por el consumidor se calcula a partir de su potencia eléctrica P, expresada en vatios, de la tensión de la red V, expresada en voltios y del factor de po-

tencia cos φ. En corriente continua no existe ángulo de defase entre la tensión V y la intensidad.

Es así por cuanto en c.c. sólo intervienen resistencia óhmica; la del conductor, en el caso que nos ocupa. No hay defase y el cos φ es igual a la unidad.

Por medio de las igualdades siguientes podremos calcular I.

PARA CORRIENTE CONTINUA

$$I = \frac{P}{V} \text{ Amperios}$$

PARA CORRIENTE ALTERNA MONOFÁSICA

$$I = \frac{P}{V \cos \varphi} \text{ Amperios}$$

PARA CORRIENTE ALTERNA TRIFÁSICA

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\, V \times \cos \varphi} \text{ Amperios}$$

La máxima intensidad de corriente admisible para conductores, calculada respecto al calentamiento, se indica en las tablas siguientes:

Tratemos ahora la cuestión de la caída de tensión (la representaremos por △ V). El signo △ es la letra griega delta mayúscula.

Para garantizar un servicio correcto, la diferencia entre la tensión que llega al consumidor y la tensión nominal de los aparatos instalados por éste no debe rebasar ciertos límites. Se admite una caída de tensión, pero no más allá de unos valores límites establecidos por los reglamentos oficiales.

Los límites de caída de tensión establecidos por la reglamentación española para instalaciones eléctricas son de un 2 % para instalaciones de alumbrado y de un 5 % para instalaciones de fuerza motriz.

Para el cálculo de la caída de tensión y de la sección de los conductores, se utilizan las siguientes fórmulas:

PARA CORRIENTE CONTINUA Y ALTERNA MONOFÁSICA

Conociendo la intensidad I

$$\text{Caída de tensión } \triangle V = \frac{2\,L\,I \cos}{s} \text{ Voltios}$$

$$\text{Sección } s = \rho \frac{2\,L\,I \cos \varphi}{\triangle V} \text{ mm}^2$$

Para corriente continua cos φ = 1.

Carga máxima admisible en cables desnudos para corriente alterna		
Sección nominal mm²	Aluminio Amperios	Cobre Amperios
50	147	184
70	195	242
95	245	306
120	285	357
150	338	423
185	375	470
240	435	545
300	518	648

Intensidad de corriente admisible en conductores de cobre aislados		
Sección mm²	Servicio permanente Amperios	Servicio intermitente Amperios
0'75	9	9
1	11	11
1'5	14	14
2'5	20	20
4	25	25
6	31	31
10	43	60
16	75	105
25	100	140
35	125	175
50	160	225
70	200	280
95	240	335
120	280	400
150	325	460
185	380	530
240	450	630
300	525	730
400	640	900

Conocida la potencia P

$$\triangle V = \rho \frac{2 L P}{S V} \text{ Voltios}$$

$$s = \rho \frac{2 L P}{\triangle V \times V} \text{ mm}^2$$

CORRIENTE ALTERNA TRIFÁSICA

Conocida la intenidad I

$$\triangle V = \rho \frac{1'73 \, L \times I \cos \varphi}{s} \text{ Voltios}$$

$$s = \rho \frac{1'73 \, L \times I \cos \varphi}{\triangle V} \text{ mm}^2$$

Conocida la potencia P

$$\triangle V = \rho \frac{L P}{s V} \text{ Voltios}$$

$$s = \rho \frac{L P}{\triangle V \times V} \text{ mm}^2$$

Las letras que intervienen en estas fórmulas representan las magnitudes siguientes:

V = tensión de servicio, en voltios;

$\triangle V$ = caída de tensión, en voltios, desde el arranque al final del conductor;

I = intensidad de corriente, en amperios, que recorre el conductor;

L = longitud de la línea, en metros;

s = sección del conductor, en milímetros cuadrados;

ρ = resistividad eléctrica en ohmios metro-milímetro cuadrado. Para el cobre = 1/56 = = 0'017.

ALGUNOS EJEMPLOS

Veamos algunos ejemplos sobre la aplicación de estas fórmulas. Interesa familiarizarse con ellas.

EJEMPLO I

Calcular la sección de la línea de corriente continua representada en la figura. Para la construcción de la línea se utilizan conductores de cobre; la caída de tensión no debe exceder 4 voltios.

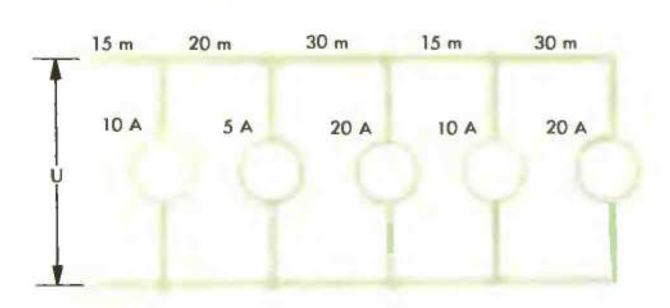
Solución

Aplicaremos la fórmula $s = \rho \frac{2 I L}{\triangle V}$ mm².

Pero al tener varias intensidades, deberemos proceder de la manera que indicamos acto seguido.

Suma de I × L que en lo sucesivo representaremos por Σ (il). El signo Σ es la letra griega sigma mayúscula.

$$\begin{aligned} \Sigma (i \cdot l) = 10 \times 15 &= 150 \\ 5 \times 35 &= 175 \\ 20 \times 65 &= 1300 \\ 10 \times 80 &= 800 \\ 20 \times 110 &= 2200 \\ &\overline{\quad 4625} \end{aligned}$$



Ejemplo 1

Éste es el valor de I × L, el cual podemos sustituir en la fórmula de la sección. Tendremos esto:

$$s = \frac{2}{56 \times 4} \times 4625 = 41'3 \text{ mm}^2$$

Esta sección teórica debe redondearse hasta la sección normal superior, indicada en la tabla. La sección será, por tanto, de 50 mm².

Sigamos: la máxima intensidad que circula desde el punto de alimentación de la línea hasta la primera derivación es de 65 amperios, y la sección adoptada de 50 mm². Esta sección, según la tabla, admite una intensidad de 160 A. Por tanto, desde el punto de vista del calentamiento, la sección hallada es más que suficiente.

EJEMPLO II

Calcular la sección de la línea de corriente alterna monofásica representada en la figura. La caída de tensión no debe ser superior a 4 voltios.

Solución

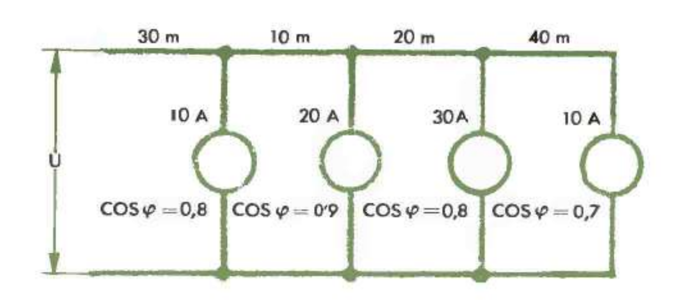
Utilizaremos la misma fórmula que en el ejemplo anterior:

$$s = \rho \frac{2\ (il \cos \varphi)}{\triangle V} \text{ mm}^2$$

$$\Sigma\ (il \cos \varphi) = \begin{aligned} 10 \times 30 \times 0'8 &= 240 \\ 20 \times 40 \times 0'9 &= 720 \\ 30 \times 60 \times 0'8 &= 1440 \\ 10 \times 100 \times 0'7 &= 700 \\ \hline & 3100 \end{aligned}$$

Si sustituimos este valor en

$$s = \frac{2}{56 \times 4} \times 3100 = 27'6 \text{ mm}^2$$



Ejemplo 2

Consultando la tabla veremos que la sección normal inmediata superior es 35 mm² y que admite una corriente de 125 amperios. Por lo que se refiere a la necesidad de evitar el calentamiento de la línea, la sección que hemos determinado es suficiente; sobra sección, para ser exactos.

EJEMPLO III

Calcular la línea de la figura, destinada a transportar corriente alterna trifásica a 110 V. La diferencia de tensiones no debe sobrepasar 3 voltios.

Solución

Calculemos primero la intensidad que absorbe el motor:

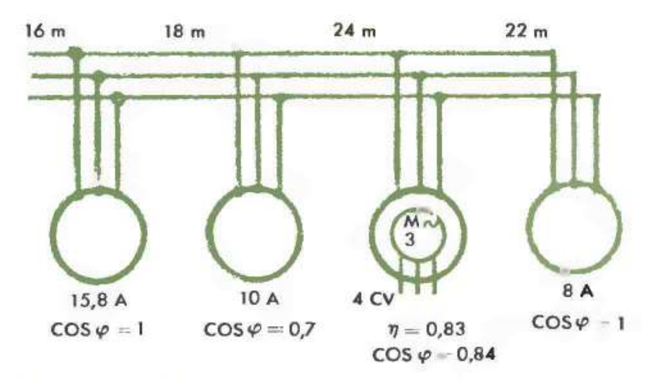
$$i_{motor} = \frac{CV \times 735}{n \times \sqrt{3} \times V \times \cos \varphi} =$$

$$= \frac{4 \times 735}{0'83 \times 1'73 \times 110 \times 0'84} = 22'1$$

Recuerde que 1 CV es igual a 736 vatios y que $\sqrt{3} = 1'73$. El valor n es el rendimiento del motor.

Conociendo ya la intensidad absorbida por el motor, podemos calcular la suma de los valores de i cos φ × l.

$$\Sigma\ (i \cos \varphi \times l) = \begin{aligned} 15'8 \times 1 \times 16 &= 253 \\ 10 \times 0'7 \times 34 &= 238 \\ 22'1 \times 0'84 \times 58 &= 1070 \\ 8 \times 1 \times 80 &= 640 \\ \hline & 2208 \end{aligned}$$



Ejemplo 3

Aplicamos ahora la fórmula que nos da la sección para líneas trifásicas:

$$S = \rho \times \frac{\sqrt{3} \times \Sigma\ (i \times \cos \varphi \times l)}{\triangle V} =$$

$$= \frac{1}{56 \times 3} \times 1'73 \times 2208 = 22'7 \text{ mm}^2$$

La sección normal inmediata superior en la tabla es de 35 mm².

LINEAS AEREAS. GENERALIDADES

La potencia eléctrica producida en las centrales se conduce por medio de líneas hasta los centros de consumo o receptores que deben alimentarse con corriente eléctrica: lámparas, motores, etcétera. Según sus finalidades inmediatas las líneas se clasifican en cuatro tipos distintos:

- LÍNEAS DE TRANSPORTE O TRANSMISIÓN.
- LÍNEAS DE ALIMENTACIÓN.
- LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN.
- LÍNEAS DE INSTALACIÓN.

Vamos a decir en cuatro palabras qué función cumplen estos cuatro tipos de líneas, para que, de ahora en adelante, podamos hablar con la tranquilidad de saberle impuesto de este conocimiento.

Las LÍNEAS DE TRANSPORTE O TRANSMISIÓN son las que unen las centrales con las estaciones receptoras. Generalmente son líneas de gran longitud que transmiten potencias considerables a tensiones elevadas.

Las LÍNEAS DE ALIMENTACIÓN son líneas de transmisión de menor importancia destinadas a unir los llamados centros de alimentación a una central o estación transformadora.

Las LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN cubren toda el área de consumo, uniendo los centros de alimentación con las líneas de instalación.

Las LÍNEAS DE INSTALACIÓN unen las líneas de distribución a los aparatos de consumo a través de las acometidas.

El transporte de energía eléctrica puede efectuarse con corriente continua, alterna monofásica o trifásica. Para grandes potencias y distancias muy largas solamente se tienen en consideración la corriente alterna monofásica y trifásica.

La razón de esta preferencia por la corriente alterna está en la gran facilidad con que su tensión puede ser elevada o reducida utilizando transformadores, que como sabemos son máquinas estáticas sencillas, relativamente económicas y de funcionamiento seguro.

Es probable que usted, lector amigo, se pregunte el porqué de este empeño en elevar y reducir la tensión. Hay una razón convincente:

Los grandes alternadores generan, casi siempre, corrientes eléctricas de una tensión comprendida entre 6000 y 15000 voltios, si bien actualmente se construyen algunos capaces de proporcionar tensiones más elevadas.

Sabemos que la potencia eléctrica está dada por el producto de una tensión y una intensidad:

$$W = I \times V,$$

siendo W = vatios, I = amperios y V = voltios.

Pues bien; si en esta fórmula mantenemos W constante y hacemos variar V, veremos que cuando ésta aumenta disminuye I, ya que el producto debe ser constante. Veamos un ejemplo:

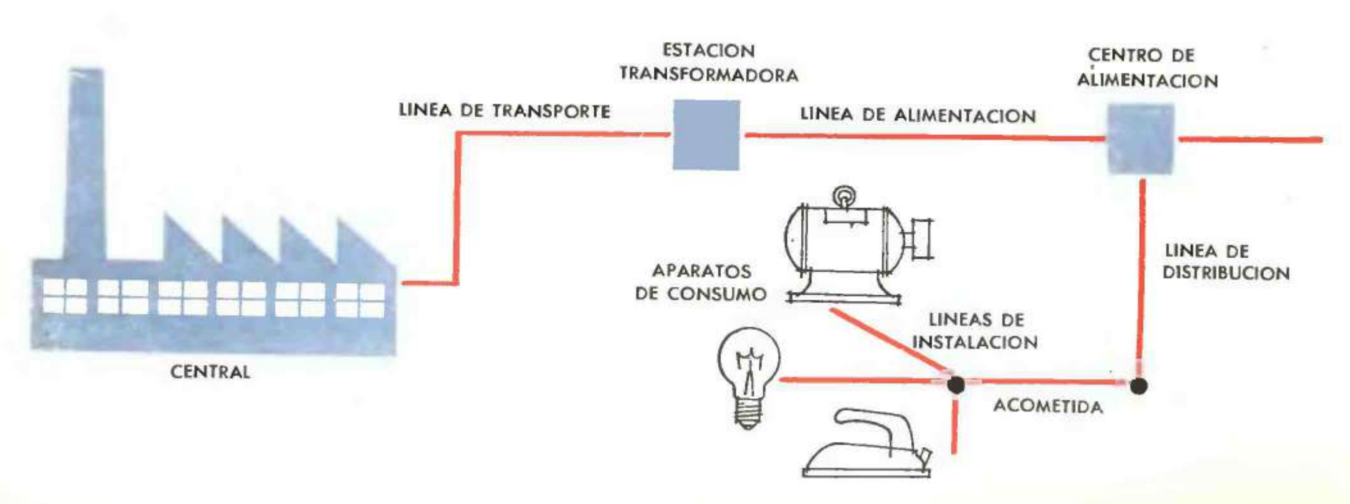
Supongamos que queremos transportar una potencia de 5000 W a una tensión de 220 V. La intensidad será:

$$I = \frac{5000 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 22'72 \text{ A}$$

Pero si en vez de una tensión de 200 V escogemos una tensión de 440 V (doble que la primera) tendremos:

$$\frac{5000 \text{ W}}{440 \text{ V}} = 11'36 \text{ A}$$

Esta intensidad es mitad de la obtenida en el caso anterior.



Por otra parte, las pérdidas más importantes en una línea son las debidas al efecto Joule, o pérdidas por calor, cuya expresión matemática es:

$$Q = 0'24 \times R \times I^2 \times T$$

que expresada en vatios en vez de calorías será:

$$W = R \times I^2$$

Al expresarla en potencia eléctrica desaparecen los factores 0'24 (equivalente eléctrico del calor) y t (tiempo).

En esta fórmula se ve bien claro que las pérdidas por efecto Joule varían con el cuadrado de la intensidad. Por tanto, a más intensidad mayores pérdidas. También hemos visto que para una potencia determinada la intensidad es inversamente proporcional a la tensión; o sea que al aumentar V disminuye I. De estos dos razonamientos es fácil deducir que a tensiones altas las pérdidas son menores y las secciones del conductor pueden ser más pequeñas. Resultado; la línea será más económica de instalación y su explotación más rentable.

VISION GENERAL DE UN SISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA

Las centrales eléctricas se construyen en las regiones donde las condiciones hidrográficas son propicias para la obtención de un salto de agua o allí donde es presumible una fácil disponibilidad de combustible. Con ello, muchas veces, la distancia desde la central a los puntos de consumo es considerable, puntos que, además, determinan una zona de consumo muy extensa.

En consecuencia las líneas alimentadoras y de distribución suelen ser de gran longitud. Las conclusiones a que hemos llegado antes aconsejan el tendido de una red de líneas alimentadoras de alta tensión (más de 50.000 voltios), de otra red de líneas distribuidoras de media tensión (de 500 voltios a 50.000 V) y a continuación una tercera red de líneas distribuidoras de baja tensión (me-

III

II

I

IV

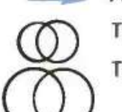
A

Línea transmisión 110.000 V

Línea distribución 30.000 V

Red distribución 220/127 V

Acometida



Transformador 30.000/220-127 V

Transformador 110.000 30.000 V

nos de 500 voltios). La instalación total, pues, trabaja a tres tensiones distintas.

En la figura representamos el esquema de una red de este tipo.

Las líneas de alimentación a 110.000 voltios, por ejemplo, conducen la energía eléctrica desde la central a los puntos de alimentación I, II, III y IV, de los que parte la red distribuidora de media tensión, que en nuestro ejemplo hemos supuesto es 30.000 voltios. La tensión en todos los puntos de alimentación es prácticamente constante e igual.

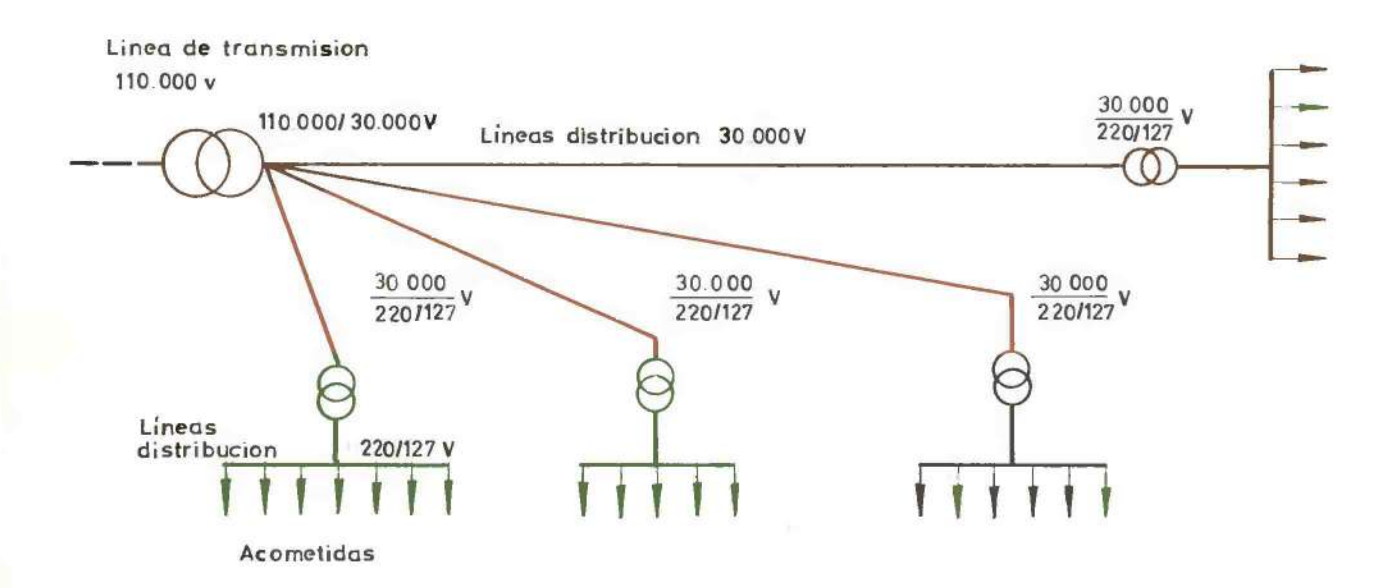
La red de distribución cubre la zona de consumo y llega a los puntos de alimentación A, en los cuales la tensión es prácticamente idéntica. Seguidamente, una vez transformada a 220 voltios, la corriente llega a las acometidas a través de la red de distribución de baja tensión. De las acometidas arrancan las líneas de instalación para usos domésticos o para usos industriales.

Si observamos detenidamente el esquema anterior veremos que la red de distribución de baja tensión se alimenta desde varios puntos. Con ello se consigue que en el caso de un fallo o avería de un alimentador la zona afectada siga recibiendo corriente procedente de otros alimentadores. Lo mismo ocurre en el caso de una avería en las líneas de transmisión de alta tensión, o de las líneas de distribución de media tensión. Por su especial disposición, este sistema de distribución recibe el nombre de *red* o *malla*.

Existe otro tipo de sistema distributivo: es el llamado *tipo radial*, del que a continuación ofrecemos un esquema. En este sistema cada alimentador sólo recibe corriente por un lado. Queda perfectamente claro que una avería en un punto cualquiera de la red de distribución afecta a una gran zona, máxime cuando sólo se dispone de una línea de alimentación de alta tensión. Comparando los dos sistemas, resulta evidente que la distribución en forma de red o malla proporciona mejor servicio que la distribución radial, ya que la regulación de tensión es más favorable y las interrupciones en el servicio son prácticamente nulas y de muy corta duración. En la red o malla las pérdidas son menores, porque la corriente, al llegar a un alimentador, se divide por las distintas ramas. Este sistema es también más flexible que el radial, ya que permite instalar nuevos transformadores en las zonas donde el incremento de consumo es mayor. Pero no todo son ventajas. La distribución en red presenta el inconveniente de sufrir elevadas corrientes de cortocircuito, cosa que exige un cálculo muy preciso en cuanto a la capacidad de carga de cada conductor de la red.

Para escoger el tipo de red más adecuado se utilizan los llamados analizadores de redes, formado por circuitos eléctricos semejantes a los de la red que se trata de analizar. En estos circuitos se efectúan lecturas de las tensiones e intensidades en los puntos de más interés.

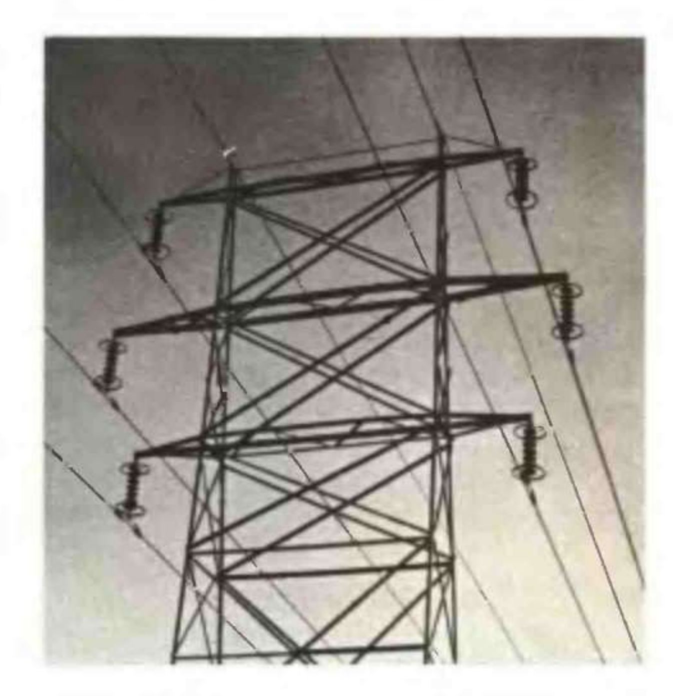
En esta visión de conjunto de un sistema de energía eléctrica no pueden faltar algunas ilustraciones que, por decirlo así, ambienten el estudio.



Vea, ante todo, la fotografía de una línea de transporte de gran potencia. En ella puede apreciar que, en realidad, se trata de dos líneas trifásicas montadas sobre torreta. Normalmente, las secciones máximas empleadas para las líneas aéreas son del orden de los 100 mm². Cuando se precisan mayores secciones, por causa de la mayor potencia a transmitir, se acoplan dos o tres conductores en paralelo. Más adelante, cuando calculemos las líneas, veremos el porqué de esta limitación de sección.

En la parte superior, a los dos lados de la torre, se distinguen dos conductores. Son los llamados líneas de guarda, conectados a tierra, que tienen la misión de absorber las descargas atmosféricas. Las líneas de transmisión de alta tensión se montan siempre sobre torres metálicas. La gran resistencia mecánica de estas estructuras de hierro, algunas de las cuales son verdaderos alardes de ingeniería, permite que entre dos torres consecutivas pueda haber gran separación. Por otra parte, estas torres se calculan para que los conductores mantengan entre sí la separación que requiere la tensión de la línea. Cuanto mayor sea la tensión, más separados deben estar los conductores.

Sigamos con las fotografías para completar este recorrido fugaz por un sistema de energía eléctrica y las partes que lo integran.



Veamos dónde nace la corriente

Esta fotografía corresponde a la sala de máquinas de una central eléctrica. En ella vemos la disposición de los cuatro turboalternadores de 50.000 KW y los elementos auxiliares. Estos alternadores generan una corriente alterna a 11.000 V, la cual pasa a los transformadores.

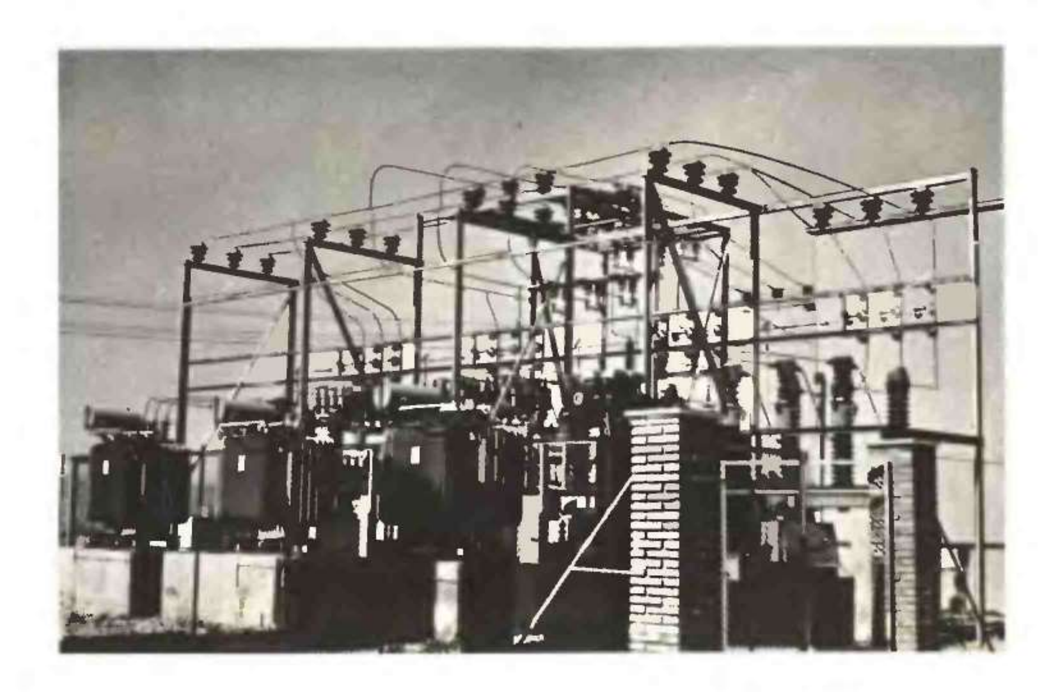


Y dónde se transforma

Los transformadores reciben la energía de los alternadores y la elevan a 110.000 V. A través de las líneas de transporte, la corriente de alta tensión llega a las estaciones transformadoras, donde su tensión es reducida de nuevo.

Aquí, se vuelve a transformar

Siguiendo con la exposición fotográfica de las partes componentes del sistema, llegamos a la estación transformadora, donde la corriente de alta tensión — en nuestro caso a 110 KV — es reducida a 25.000 V. Las estaciones transformadoras pueden ser del tipo intemperie o interior. Nuestra fotografía corresponde a una estación transformadora del tipo intemperie, de la cual arrancan las líneas de alimentación a 25.000 V. Estas líneas pueden montarse sobre torres metálicas o sobre postes de hormigón o madera. Lo más corriente es que se utilicen postes, que son más económicos.

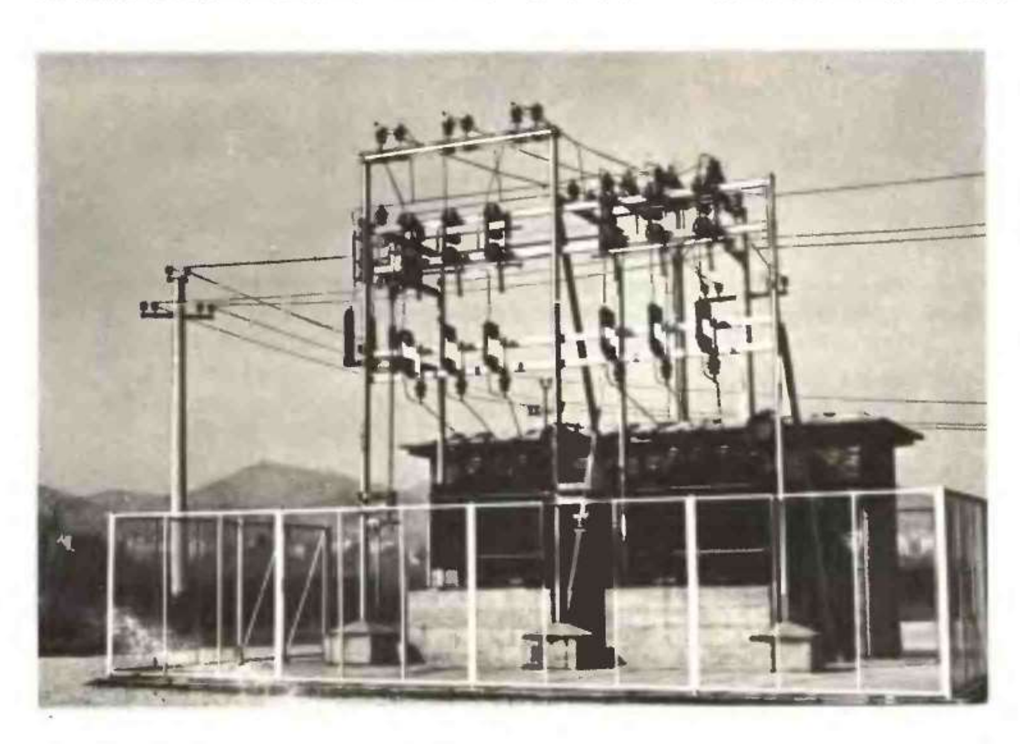


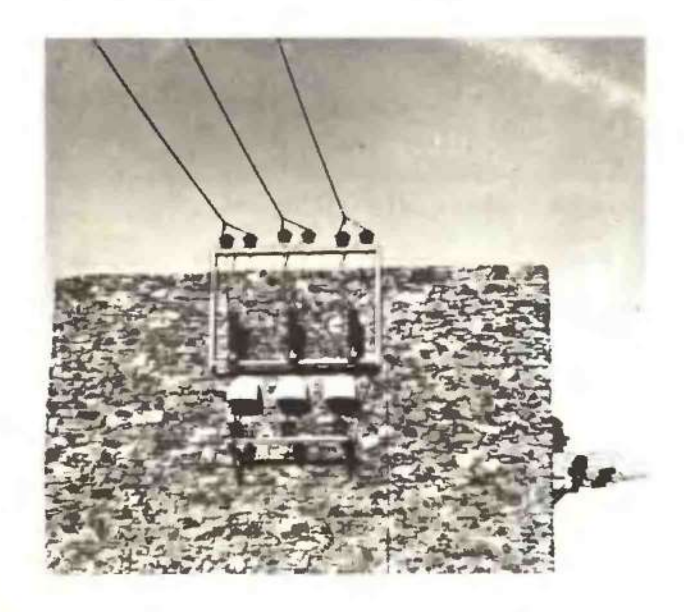
Las líneas de alimentación terminan en los centros de distribución, donde la tensión se reduce a 220 V.

Según la importancia, situación y sistema utilizados, así será el centro de distribución. Es decir, existen muchos tipos, pese a que su misión es siempre la misma: reducir la tensión al valor nominal del consumo.

La fotografía muestra un centro de distribución, en un montaje característico en la alimentación de grandes industrias. En las ciudades es frecuente que esos transformadores estén instalados en cámaras subterráneas excavadas en las aceras o en locales situados en la planta baja de los edificios. En las industrias de gran consumo suelen montarse a la intemperie. Es el caso de nuestra foto, donde se hace patente que el aspecto de estos centros de distribución es muy semejante al de una estación transformadora de alimentación.

De los centros de alimentación, o alimentadores, la corriente de baja tensión discurre por la red de distribución y, a través de las acometidas, pasa a las líneas de instalación, por lo general situadas en el interior de los edificios. Las acometidas (es una cuestión elemental saberlo) pueden ser subterráneas o aéreas. En las grandes ciudades se utilizan mayormente las acometidas subterráneas. Las acometidas aéreas han quedado relegadas a los casos de alimentación de casas aisladas, en pueblos, etc. Cuando se trata de abastecer de energía eléctrica las grandes industrias, se acostumbra hacerlo con líneas de tensión elevada. En la fotografía se muestra una acometida a 25.000 voltios.





CALCULO DE LAS LINEAS AEREAS

Para conseguir que una instalación sea segura y económicamente rentable, su cálculo debe considerar los cuatro puntos de vista siguientes:

a) Resistencia mecánica.
b) Calentamiento.
c) Caída de tensión.
d) Consideraciones económicas.

RESISTENCIA MECANICA

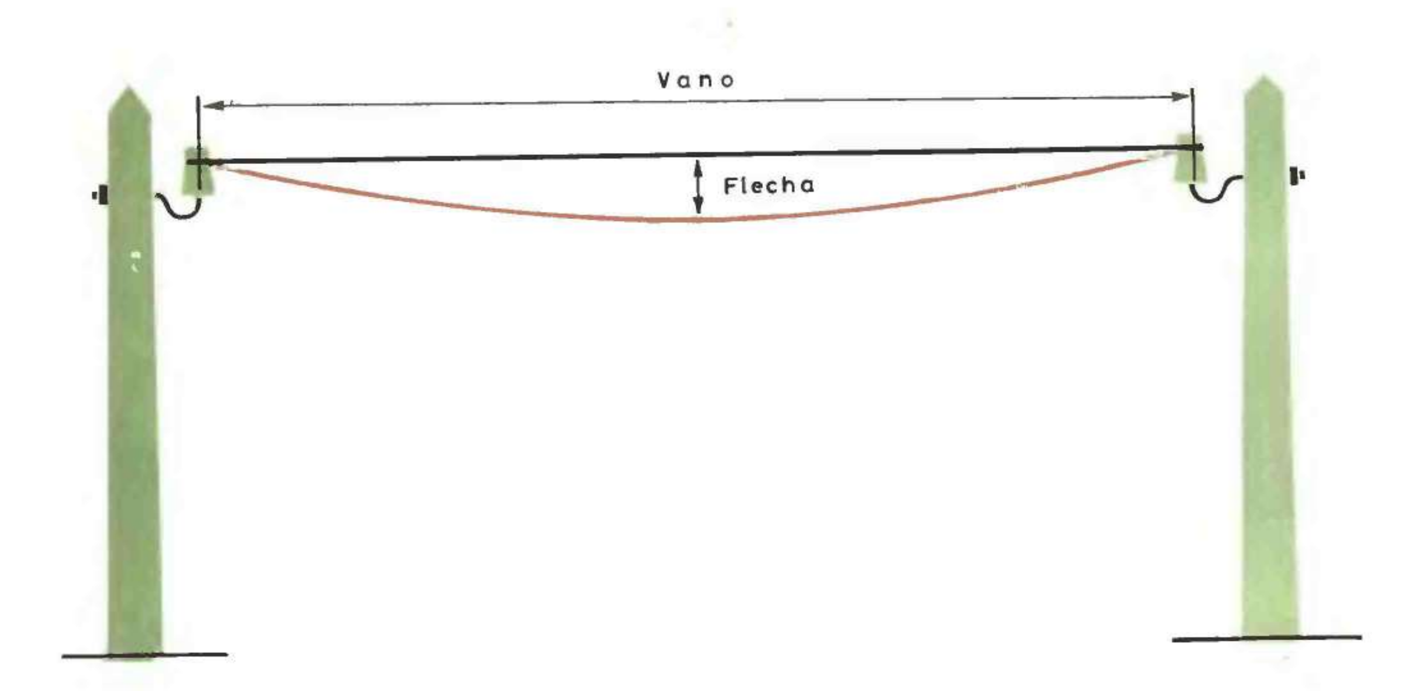
El material utilizado con mayor profusión para la fabricación de los conductores en los tendidos de líneas aéreas es el cobre recocido. Su resistividad o resistencia específica es igual a 0'01786, expresada en ohmios por metro milímetro cuadrado. Este valor es igual a 1/56, y ésta es la fracción que usaremos en todos los cálculos. Cuando se trata de líneas aéreas con grandes distancias entre postes se prescriben conductores de aluminio, dado que los grandes vanos a cubrir fuerzan a utilizar materiales menos pesados.

Antes de continuar definiremos dos términos muy empleados en el estudio de los tendidos de líneas aéreas, a saber:

VANO. Es la distancia entre dos postes, torres o puntos de amarre consecutivos de los cables.

FLECHA. Es la distancia entre la recta que une los dos puntos de amarre y el punto de máxima curvatura de la línea. En la figura representamos la flecha y el vano.

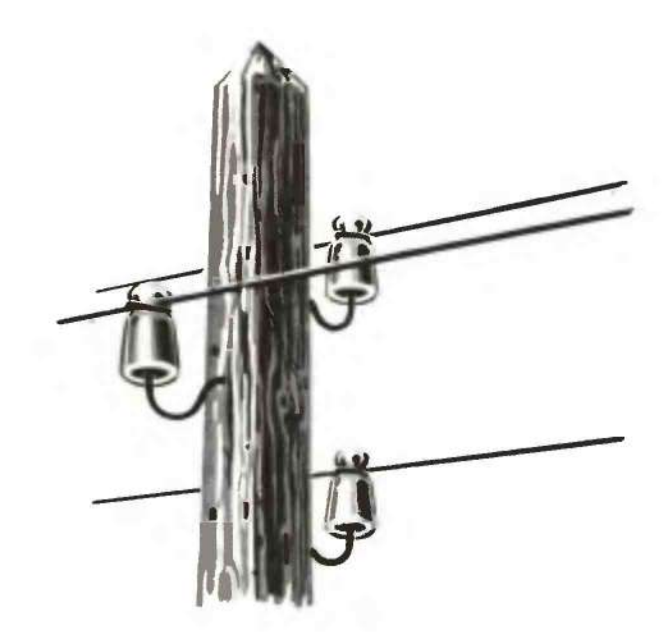
Los apoyos comúnmente usados en los tendidos de líneas aéreas son: postes metálicos, postes de hormigón, postes de celosía o torres, postes de madera, palomillas de tubo y los edificios. Entre los postes distinguiremos dos tipos: POSTES DE ALINEACIÓN, que se utilizan para soportar los conductores de forma normal, y POSTES ESPECIALES, que sirven de amarre para los conductores. El dimensionado de los postes se hace de acuerdo con la tabla siguiente:



DIMENSIONES EN LINEAS AEREAS DE B.T.

Sección del conductor hasta mm²	Número de conductores de la línea	Condiciones de tracción máxima kg/mm²	Vano m	Flecha a 40° C m	Longitud del poste m	Profundidad del hoyo m	Diámetro del poste en la cabeza o cogolla cm	Distancia entre aisladores m
25	4	3,8	35	0,99	9	1,6	12 a 14	0,6
35	4	3,8	40	1,05	9	1,6	13 a 15	0,6
50	4	5	50	1,01	9	1,6	14 a 16	0,6
70	4	4,5	50	1,00	9	1,6	15 a 17	0,6
95	4	4,0	50	1,00	9	1,6	15 a 17	0,6

Esta tabla es válida para el montaje de líneas con los aisladores atornillados directamente al poste de madera. Vea nuestra figura.



Ejemplo sobre la utilidad de la tabla

Supongamos que se trata de una línea de baja tensión, con cable de aluminio de 50 mm² de sección. Su longitud es de 500 m; no tiene cambios de dirección. La línea está formada por tres fases y un neutro, o sea, por un total de cuatro hilos. Buscamos en la tabla los valores correspondientes a la sección de 50 mm² (que hemos subrayado) y encontramos un valor de 50 m para la longitud del vano. El número de postes a emplear será:

$$\frac{\text{Longitud de la línea}}{\text{Longitud del vano}} + 1 = \text{Número de postes}$$

Aplicado a nuestro caso tendremos :

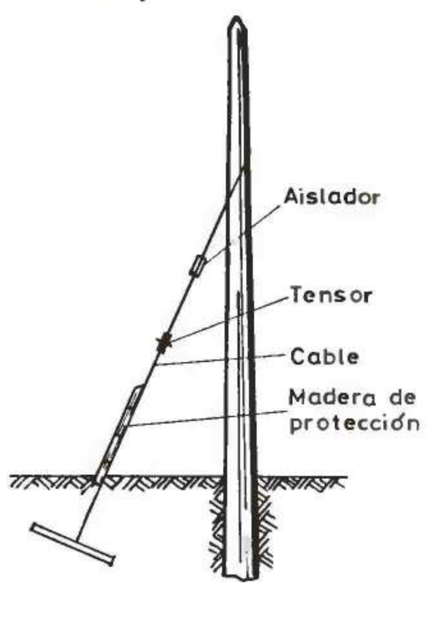
$$\frac{500}{50} + 1 = 11 \text{ postes}$$

En la tabla vemos que la tracción máxima debida al cable será de 5 Kg/mm². Puesto que la sección del cable utilizado en la línea es 50 mm², el valor total de la tracción será de $50 \times 5 = 250$ Kg.

Siguiendo con la tabla, encontramos una flecha de 1'01 m a 40° C, una longitud de 9 m para los postes y un diámetro en la cabeza de 16 cm. Tomamos el valor mayor, porque suponemos el cable se tensa hasta el valor máximo admisible. Los postes de los extremos de línea deberán reforzarse, ya que son de amarre, mientras que los intermedios son únicamente postes de alineación.

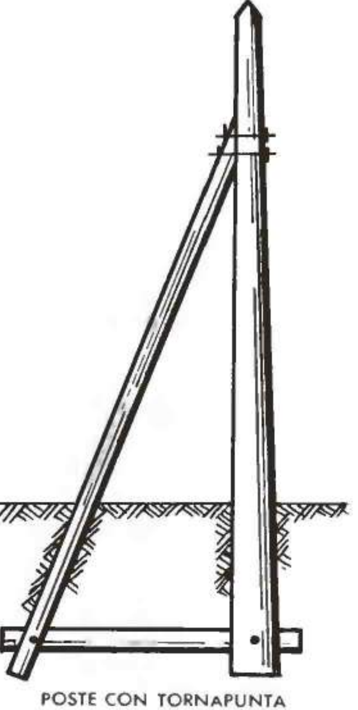
POSTES, VANOS Y FLECHAS

Los postes de amarre por lo general se refuerzan con tornapuntas o tirantes para los cambios de dirección. Para los amarres de finales de línea se utilizan postes dobles.





POSTE CON ANCLAJE



POSTE CON TORNAPUNTA

POSTE DOBLE

Las longitudes de los vanos en los tendidos de líneas aéreas dependen del tipo de poste o amarre empleado, y son de 40 a 80 m para postes de madera. También de 40 a 80 m para palomillas de tubo. Los postes de hormigón admiten vanos de 80 a 200 m. Con postes metálicos de celosía pueden admitirse vanos de 100 a 300 m. La elección del vano está condicionada en gran parte por la tensión de la línea, ya que para tensiones elevadas son necesarios aisladores de gran precio; es obvio que para una longitud de línea dada, menor será el número de aisladores necesarios cuanto mayor sea el vano. Vemos, pues, que la longitud del vano para altas tensiones está determinada por consideraciones de índole económica. También aumenta el vano al aumentar la sección del conductor; es lógico, dado que una sección mayor representa, para un mismo material, un aumento de su resistencia mecánica.

Como hemos dicho, los conductores de las líneas aéreas se amarran a los aisladores y penden libremente entre soporte y soporte. Para evitar que al ser movidos por el viento puedan tocarse, provocando un cortocircuito, los cables deben tensarse hasta que su flecha tome los valores que se especifican en las tablas que ofrecemos inmediatamente.

VALOR EN CM DE LA FLECHA, en función de la temperatura y del vano, para líneas formadas por conductores de cobre montados en postes de madera. En la tabla se dan además los valores de la tensión mecánica específica.

Sección del cable mm² (cobre)	Tensión específica kg/mm²	Longitud del vano m	— 10° C	0° C	+ 10° C	+ 20° C	+ 30° C	+ 40° C
25	12	35	14	17,5	21,5	27,5	34,5	43
		40	19	24	30	36,5	44	5
		45	26	32	40	48	56	64
		50	35,5	43	52	61	70	78
		55	47	56	·5,5	75	85	94
		60	61	71	81	91	102	112
		65	77	87	97	107,5	118	128
		70	94	106	117	128	138	148
		35	18	23	29	36	44	50
		40	26	32	40	48	55	62
36	9,5	45	36	44	52	60	68	76
		50	48	57	66	74	83	91
		55	63	72	81	90	99	107
		60	79	89	99	108	117	125
		65	97	107	117	126	135	144
		35	21,5	27,5	34,5	41	48,5	55
		40	30,5	38	46	53	60	67
50	8	45	42	50	59	67	74,5	82
		50	55,5	64	72,5	81	88,5	96
		55	71	80	89	98	106,5	114,5
		60	88	97,5	107	116	124,5	133
		65	106,5	116,5	126	135	144	152

VALOR DE LA FLECHA, en cm, para cables de aluminio-acero, en función del vano y la temperatura. Los cables de aluminio se refuerzan a menudo con un alma de acero para aumentar su resistencia mecánica. En estos cables, el aluminio constituye el conductor.

Sección del cable Al-Ac mm²	Tensión específica kg/mm²	Longitud del vano m	— 10° C	0° C	+ 10° C	+ 20° C	+ 30° C	+ 40° C
25-4	7	30	7,5	9,5	13,5	20	28	36
		40	18	24,5	33,5	43,5	53	62
		50	42	54	75	76	85,5	95
		60	81	93,5	105	116	126	135
35-6	5,5	30	10	14	21	29	37	44
		40	26	35	45	54,5	63	71
		50	56	67,5	78	87,5	96,5	105
		60	96,5	108	118	128	137	146
50-8	5	30	10	15	21,5	28,5	37	49
		40	25,5	35,5	43	53	62,5	72
		50	50,5	61,5	83'5	85,5	95	104
		60	85,5	98	112	125	137	146
10-12	4,5	30	12	17	24	31	38	47
		40	26	34	42,5	54,5	63,5	71,5
		50	50	60,5	72,5	84	94,5	102
		60	83,5	96,5	108	119,5	130	139
95-15	3,8	30	14	20	27	36	44	50
		40	30	39	50	59,5	68	76
		50	57	68	79	89	98	107
		60	93	105	116	125	136	144

Para determinar la longitud de los postes es necesario conocer el valor de la flecha máxima que puede tomar el conductor, ya que el reglamento de tendido de líneas aéreas prescribe una altura mínima del conductor de seis metros sobre el suelo, admitiendo cinco metros en los lugares inaccesibles a las personas.

Veamos 1 ejemplo del uso de las tablas

Supongamos que hemos de tender una línea de cobre de 35 mm² de sección, sobre postes de madera y con una longitud de vano de 50 m. Las temperaturas varían, en la zona donde se instala la línea, entre 0° C y 30° C. En la tabla vemos que la flecha a 30° C es de 83 cm cuando el cable se tensa a 9'5 Kg/mm². Para escoger el poste calcularemos el esfuerzo total en la punta, que será igual a:

Tensión específica × Sección de la línea =

= 35 × 9'5 = 331'5 Kg

La longitud total del poste será:

Distancia mínima desde el conductor al suelo + valor de la flecha + distancia de la cruceta al extremo superior del poste + empotramiento del poste en el suelo.

Suponemos un valor de 20 cm para la distancia de la cruceta a la cabeza del poste. Para postes de madera sencillos el empotramiento debe ser la sexta parte de su longitud total; pero no debe nunca ser inferior a 1'60 m. Por tanto, en nuestro caso será:

Distancia del conductor al suelo

Flecha máxima

6 + 0'83 + 0'20 + 1'60 = 8'63 m

Empotramiento mínimo

Distancia de cruceta a cabeza

O sea que adoptaremos un poste de 9 metros.

Pediremos, por tanto, un poste de 9 metros de longitud para un esfuerzo en la punta de 250 Kg.

CALENTAMIENTO

Cuando pasa una corriente de I amperios por un conductor de resistencia igual a R ohmios, la temperatura en el conductor se eleva, hasta que el calor transmitido por la corriente en un tiempo t es igual al calor que el conductor cede al ambiente en el mismo tiempo t. La cantidad de calorías producidas en un segundo es igual, según la ley de Joule, a:

$$Q_1 = 0'14\ I^2\ R \text{ calorías}$$

El número de calorías cedidas es, entre límites moderados de temperatura, proporcional a una constante c, que depende de los factores siguientes: del conductor empleado, del aumento de temperatura del mismo respecto a la temperatura ambiente $(t_2 - t_1)$ y de la superficie S del conductor (siendo t_2 la temperatura al final, y t_1 la temperatura ambiente). Es decir:

$$Q_2 = c\ (t_2 - t_1)\ S \text{ calorías}$$

Cuando la temperatura del conductor se estabilice, tendremos la igualdad:

$$Q_1 = Q_2, \text{ o sea}$$

$$0'24\ I^2\ R = c\ (t_2 - t_1)\ S \text{ calorías}$$

Sustituyendo R por su valor $\rho \frac{l}{s}$, y la superficie del conductor (supuesta su sección circular de diámetro d) por su calor $S = \pi\ dl$, la igualdad anterior puede escribirse:

$$0'24\ I^2 \frac{\rho \times l}{s} = c\ (t_2 - t_1)\ \pi\ dl \text{ calorías}$$

Como la sección del conductor es $S = \frac{\pi\ d^2}{4}$, resulta:

$$t_2 - t_1 = \frac{0'24 \times 4}{\pi^2\ c} \times \frac{I^2}{d^3} \text{ grados C}$$

Si hacemos $\frac{0'24 \times 4\ \rho}{\pi^2\ c} = K$, tendremos para el aumento de temperatura:

$$t_1 - t_2 = K \frac{I^2}{d^3}\ ^\circ C$$

Esta fórmula nos dice que el aumento de temperatura es directamente proporcional al cuadrado de la intensidad de la corriente e inversamente proporcional al cubo del diámetro del conductor.

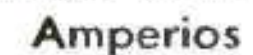
A continuación incluimos una tabla que da la carga máxima admisible en cables desnudos para corriente alterna:

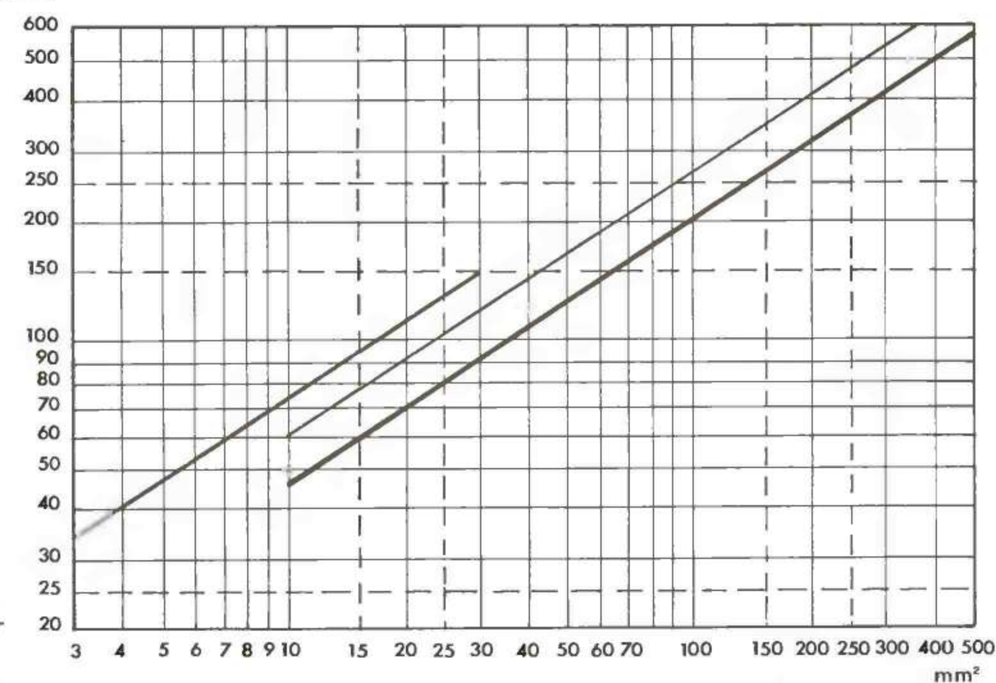
Sección nominal mm²	Cobre Amperios	Aluminio Amperios	Aluminio-acero alma acero de 6 amperios
50	184	147	160
70	242	195	203
95	306	245	250
120	356	285	300
150	423	338	346
185	470	375	384
240	545	435	458

En la tabla advertimos que, para idéntica sección, los cables de aluminio admiten tan sólo una carga igual al 80 % de la que admiten los cables de cobre.

Las secciones dadas en la tabla y las cargas máximas admisibles se consideran para servicio permanente; están calculadas según el criterio del calentamiento máximo admisible.

El gráfico siguiente da las intensidades admisibles en los conductores desnudos de las líneas aéreas, correspondientes a un calentamiento de 25° C, en las condiciones más desfavorables.





CAIDA DE TENSION

Cuando pasa por los conductores, la energía eléctrica debe vencer la resistencia que aquéllos oponen al paso de la corriente. Como ya hemos visto, este fenómeno se traduce en unas pérdidas en la línea, lo que equivale a decir que parte de la energía transmitida se convierte en calor. El valor de estas pérdidas ($R \times I^2$) puede expresarse así: $R \times I \times I$. Según la ley de Ohm, el producto de la resistencia por la intensidad ($R \times I$) es igual a una tensión; de donde resulta que, debido a las pérdidas en la línea, la tensión al final de la misma es menor que la que podemos medir a la salida de la central. La diferencia entre estas tensiones recibe el nombre de *caída de tensión.*

Tratemos de los cálculos de la caída de tensión en líneas de corriente continua y alterna.

CAIDA DE TENSION EN LINEAS DE C.C.

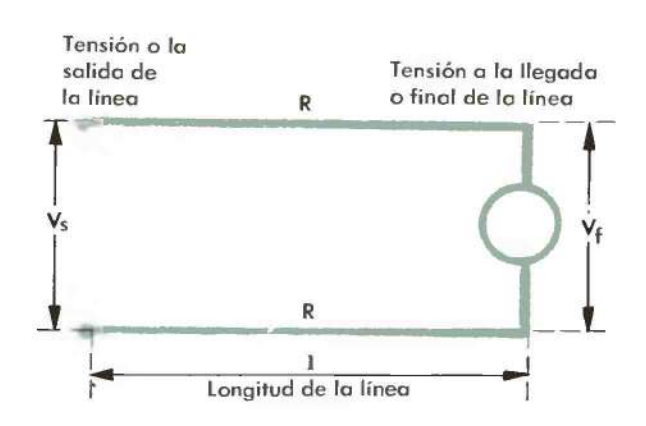
La caída de tensión $\triangle V$ en corriente continua es igual a la caída óhmica. Al paso de la corriente continua solamente se opone la resistencia de la línea; de ahí que el cálculo de estas caídas resulte muy sencillo y directo:

$$\triangle V = RI = V_s - V_f$$

En estas igualdades, V_s = tensión a la salida de la línea; V_f = tensión al final de la línea.

Pero siendo $R = \rho \dfrac{l}{s}$, podemos escribir:

$$\triangle V = \rho \frac{l}{S} \times I = \rho l \frac{I}{S}$$



El factor I/S no es otra cosa que la *densidad de corriente*, que se representa por la letra griega δ (delta minúscula). Por tanto, podemos expresar así la caída de tensión:

$$\Delta V = l \times \delta$$

Ésta es la expresión de la caída de tensión en función de la densidad de corriente. En la distribución con dos hilos que representamos en la figura, la caída de tensión sería la suma de las caídas óhmicas en el conductor de ida y en el de retorno:

$$\Delta V = 2\ R \times I = 2\ (\rho \frac{l}{S}) \times I$$

R representa la resistencia de un conductor y l la longitud de un conductor.

Ejemplo

Supongamos que debemos calcular la caída de tensión de una línea de 65 m de longitud, formada por dos conductores de cobre de 10 mm^2 de sección, recorrida por una corriente de 20 amperios. La resistividad del cobre es igual a 0'018 Ω mm^2/m.

La caída de tensión será:

$$\Delta V = 0'018 \times \frac{2 \times 65}{10} \times 20 = 4'68 \text{ voltios}$$

CORRIENTE ALTERNA

En el cálculo de las caídas de tensión de las líneas de corriente alterna debemos considerar, además de la resistencia óhmica R, la reactancia L ω.

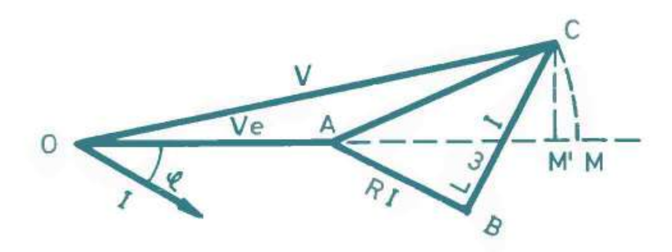
Los aparatos receptores producen, entre la tensión eficaz V_e a la llegada y la corriente eficaz I, un ángulo de defase φ.

Construyamos el diagrama vectorial de las tensiones. El régimen a la llegada está definido por los vectores V_e = 0A e I. Por el punto A tracemos el vector RI paralelo a I; por su extremo B, el vector L ω I perpendicular a I.

El vector AB = RI representa la caída óhmica de tensión.

El vector BC = L ω I representa la caída inductiva de tensión.

El vector AC representa la variación vectorial de la tensión en el circuito. La variación algébrica de tensión Δ V puede ser medida directamente en M rebatiendo el punto C sobre el eje OA, siendo AM su valor eficaz.



Confundiendo M con la proyección M' de C sobre el eje OA, obtenemos la fórmula algebraica aproximada, generalmente utilizada en la práctica:

$$\Delta V = RI \cos \varphi + L \omega I \operatorname{sen} \varphi$$

Aplicaciones: supongamos R y L referidos a un conductor.

CIRCUITO MONOFÁSICO A DOS HILOS O BIFÁSICO A CUATRO HILOS. La caída de tensión tiene por valor:

$$\Delta V = \sqrt{3}\ (RI \cos \varphi + L \omega I \operatorname{sen} \varphi)$$

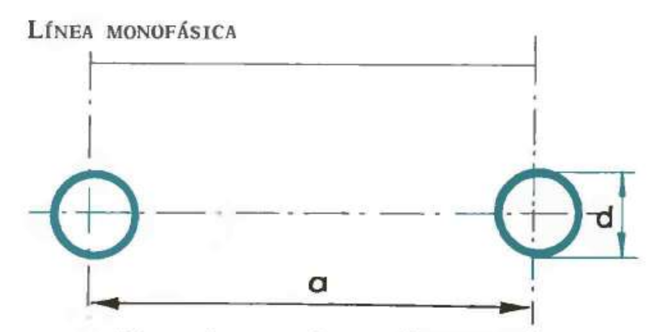
CIRCUITO TRIFÁSICO A TRES CONDUCTORES. La tensión entre fases (tensión compuesta) es $\sqrt{3}$ veces la tensión entre fase y neutro (tensión simple). La caída de tensión compuesta, por tanto, será $\sqrt{3}$ veces la caída de tensión simple.

$$\Delta V = \sqrt{3}\ )RI \cos \varphi + L \omega I \operatorname{sen} \varphi)$$

CÁLCULO DE LAS INDUCTANCIAS

La parte más complicada, en el cálculo de las caídas de tensión, está en la determinación de la inductancia L de los conductores. A continuación damos las fórmulas que permiten determinar el coeficiente de inducción, para un Km de conductor cableado, expresado en milihenrios (mH), según sea la posición relativa de los conductores entre sí.

LÍNEA MONOFÁSICA



a = Distancia entre los conductores (de centro a centro).

d = Diámetro de los conductores, expresado en las mismas unidades que *a*.

L = Inductancia por Km y por conductor, expresada en milihenrios.

$$L = 0'05 + 0'46 \log \frac{2a}{d} \text{ mH/Km}$$

LÍNEA TRIFÁSICA CON LOS CONDUCTORES SITUADOS EN VÉRTICES DE UN TRIÁNGULO EQUILÁTERO

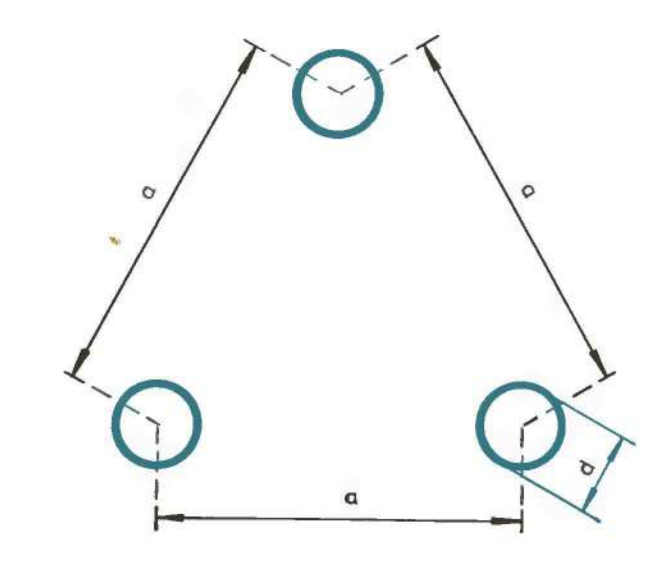
a = Distancia entre conductores.
d = Diámetro de los conductores.
L = Inductancia por Km y por conductor, expresada en milihenrios.

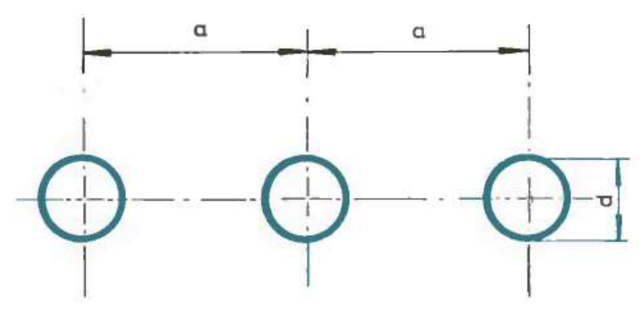
$$L = 0'05 + 0'46 \log \frac{2a}{d} \text{ mH/Km}$$

El coeficiente de inducción es igual que en el caso de una línea monofásica.

LÍNEA TRIFÁSICA EN DISPOSICIÓN SIMÉTRICA DE LOS CONDUCTORES.
didos de media y alta tensión.

Los tres conductores se encuentran en un plano. Esta disposición es muy empleada en los ten-
a = Distancia entre conductores.
d = Diámetro de los conductores
L = Inductancia por Km de conductor, expresada en mH.





Conductor central:

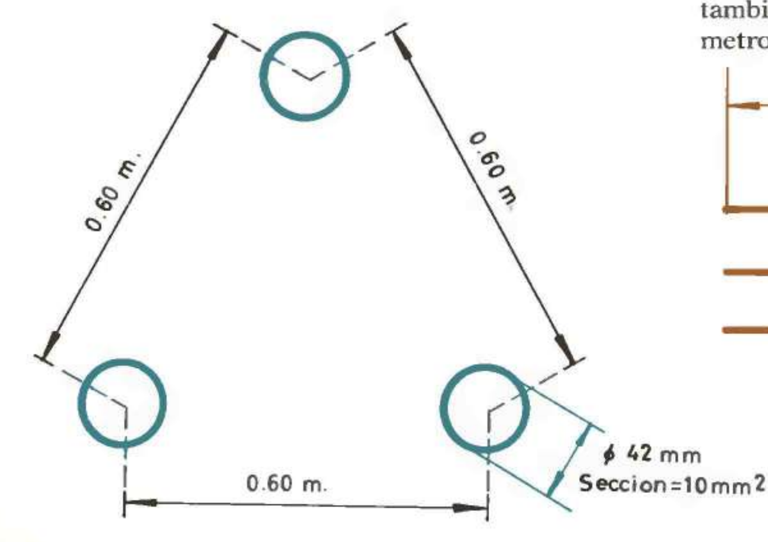
$$L = 0'05 + 0'046 \log \frac{2a^2}{d} \text{ mH/Km}$$

Conductor extremo:

$$L = 0'05 + 0'46 \log \frac{2a}{d} \text{ mH/Km}$$

AMPLIACIONES NUMERICAS

Vamos a calcular la caída de tensión entre fases en una línea aérea trifásica. Los datos de dicha línea son: cables de cobre de 100 m de lonbitud y sección de 10 mm². Resistividad del cobre $\rho = 0'018\ \Omega\ \text{m/mm}^2$. Los conductores están dispuestos en los vértices de un triángulo equilátero de 0'60 m de lado. Intensidad eficaz = 20 A; factor de potencia = 0'8; tensión entre fases = = 220 V; frecuencia = 50 Hz ($\omega = 2 \pi f$). Digamos también que, para una sección de 10 mm², el diámetro es de 4'2 mm.



100 m.

I = 20 A

V = 220 V

~ 50 H2 cos φ = 0.8

Solución

La inductancia de un conductor es, en milihenrios por 1 Km,

$$L = \frac{100}{1.000} (0'05 + 0'46 \log (2 \times \frac{60}{0'42})) =$$
$$= 0'1 \; (0'05 + 0'46 \times 2'46) = 0'118 \text{ mH}$$

Esta inductancia, expresada en henrios, será:

$$0'118 : 1000 = 0'000118 \text{ H}$$

La reactancia de un conductor es:

$$X_L = 0'000118 \times 2 \times 3'14 \times 50 = 0'037 \; \Omega$$

La resistencia óhmica de un conductor es:

$$R = 0'018 \times \frac{100}{10} = 0'18 \; \Omega$$

Siendo el factor de potencia 0'8, tenemos $\cos \varphi = 0'8$ y $\text{seno} \; \varphi = 0'6$.

La caída de tensión entre fases será, pues:

$$\triangle V = \sqrt{3} \; (0'18 \times 20 \times 0'8 + 0'037 \times$$
$$\times 20 \times 0'6) = 5'79 \text{ V}$$

que expresada en tanto por ciento de la tensión nominal será:

$$\frac{5'79 \times 100}{220} = 2'63 \; \%$$

DESDOBLAMIENTO DE LOS CABLES DE GRAN SECCION

Consideremos una línea formada por cables de sección **S** recorridos por la corriente **I**. La caída de tensión entre fase y neutro, designando por **R** y **L** la resistencia y la inductancia de un cable, será:

$$\triangle V = RI \cos \varphi + L \omega I \text{ sen } \varphi$$

Consideremos ahora otra línea en la que cada fase está formada por un número doble de cables, cuya sección es la mitad de la que tendría un solo cable. La sección será, pues, **S/2**. Para una sección mitad, es evidente que la resistencia será doble, o sea **2 R**, mientras que la intensidad será la mitad: **I/2**. La reactancia prácticamente no ha aumentado, si el diámetro del conductor ha disminuido en la relación 1 a $1/\sqrt{2}$.

La caída de tensión en la línea doblada será:

$$2 R \frac{I}{2} \cos \varphi + L \omega \frac{I}{2} \text{ sen } \varphi =$$

$$= RI \cos \varphi + L \omega \frac{I}{2} \text{ sen } \varphi$$

LA CAÍDA ÓHMICA NO VARÍA, PERO LA CAÍDA INDUCTIVA SE REDUCE A LA MITAD.

Éste es uno de los motivos por los que se prefiere utilizar cables de sección menor, conectados en paralelo, cuando por la potencia a transportar se precisen cables de gran sección.

Otro de los motivos que aconsejan este desdoblamiento de cables es el siguiente: la densidad de corriente en la sección de un conductor no es uniforme y la corriente, debido a fenómenos de inducción electromagnética, tiende a concentrarse en las proximidades de la superficie del conductor. Este fenómeno hace que, para los efectos prácticos, se aproveche deficientemente la sección del conductor, y para los efectos de las pérdidas es como si se tratara de un conductor de menor sección, lo que se traduce en mayores pérdidas y mayor caída. Este fenómeno recibe el nombre de *efecto pelicular*.

Además del efecto pelicular, al aumentar la sección — y con ella los efectos electromagnéticos — aparecen las llamadas corrientes parásitas o de Foucault, que dan lugar a pérdidas suplementarias de escasa magnitud.

CONSIDERACIONES ECONOMICAS

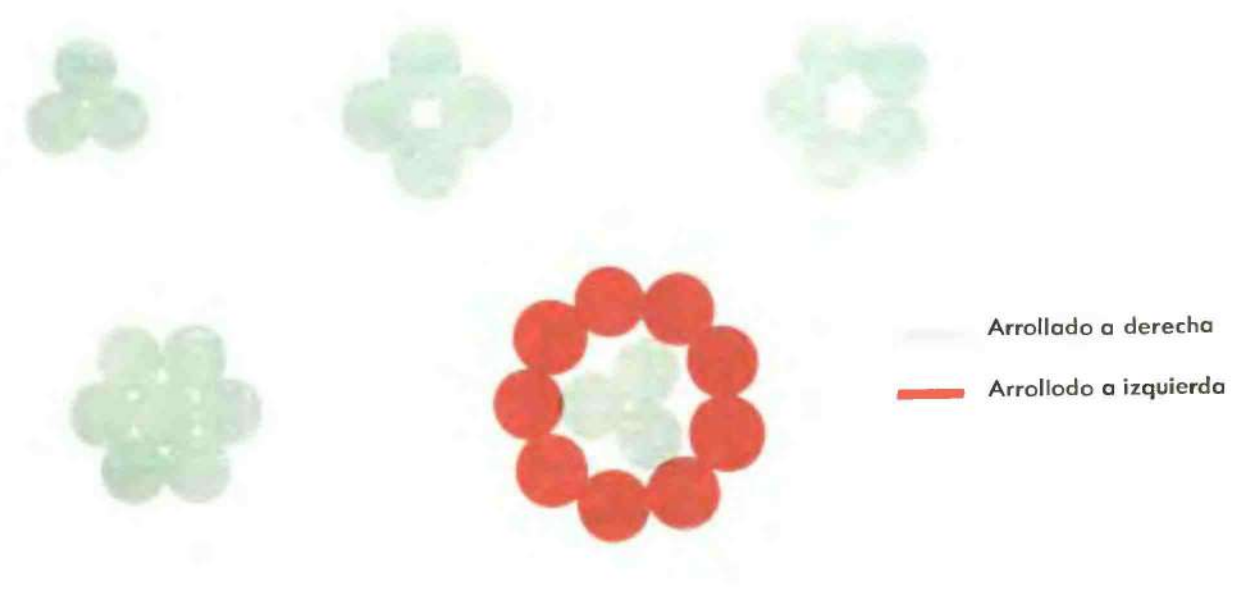
Evidentemente, este punto es de menor importancia para el cálculo de una línea que las consideraciones sobre calentamiento, resistencia mecánica y caída de tensión. No obstante, las líneas deben estar calculadas de manera que permitan reducir al mínimo los gastos de construcción, explotación y mantenimiento. El factor económico puede condicionar, en determinados casos, una decisión de orden técnico. Todo gasto debe estar proporcionado a los ingresos obtenidos por la venta de la energía eléctrica que circula por la línea.

MATERIALES EMPLEADOS EN LOS TENDIDOS DE LINEAS CONDUCTORES

Ya hemos dicho que en los tendidos de líneas aéreas se utilizan cables desnudos (sin aislamiento) de cobre, aluminio o aluminio-acero. Lo usual es utilizar cables de cobre. En la tabla siguiente damos las características de los materiales utilizados:

	Cobre	Aluminio	Aluminio-acero Composiciones corrientes
Resistividad a 20° C (m/mm²)	0,018	00,28	Solamente se considera la sección de aluminio.
Peso específico (g/cm³)	8,9	2,7	3,4 a 4,1 según composición.
Resistencia a la rotura (k/mm²)	38 a 45	15 a 19	31 a 38 según composición.
Coeficiente de dilatación	0,000017	0'000023	0,000016 a 0,000018 según composición.

Para pequeñas secciones se utilizan conductores rígidos, o sea formados por un solo hilo. Los conductores de gran sección están formados por varios hilos que se arrollan unos alrededor de otros. Esta disposición disminuye la rigidez del conductor. El cable más sencillo es el que está formado por tres hilos de igual diámetro. Si alrededor de este cable de tres hilos arrollamos otra capa de hilos de igual diámetro, obtendremos un cable de doce hilos, cuya sección será el cuádruplo del primitivo. Esta segunda capa se arrolla haciendo girar la máquina al revés, para que las capas se aprieten unas contra otras y, a la vez, para limitar al mínimo las reacciones de torsión. En la figura representamos las secciones de los cables de tres, cuatro, cinco, siete y doce hilos.



AISLADORES

Los aisladores son los más delicados de todos los elementos de la línea, por lo que debe ponerse el mayor cuidado en su adquisición, recepción, colocación y mantenimiento en explotación. En efecto: frágiles por naturaleza, se hallan sometidos a esfuerzos combinados (mecánicos, eléctricos y térmicos) que pueden ocasionar su destrucción, tanto por defectos de fabricación como por fallos de cálculo que les obliguen a trabajar en condiciones que se aparten de las óptimas previstas por el fabricante.

En la práctica sólo se utilizan dos materiales para la fabricación de los aisladores destinados a los tendidos de líneas aéreas: el vidrio y la porcelana.

Los aisladores en las líneas aéreas cumplen con dos funciones: sujetar los conductores, evitando que puedan desplazarse en sentido vertical u horizontal, e impedir que la corriente de la línea derive hacia el suelo u otra parte de la instalación.

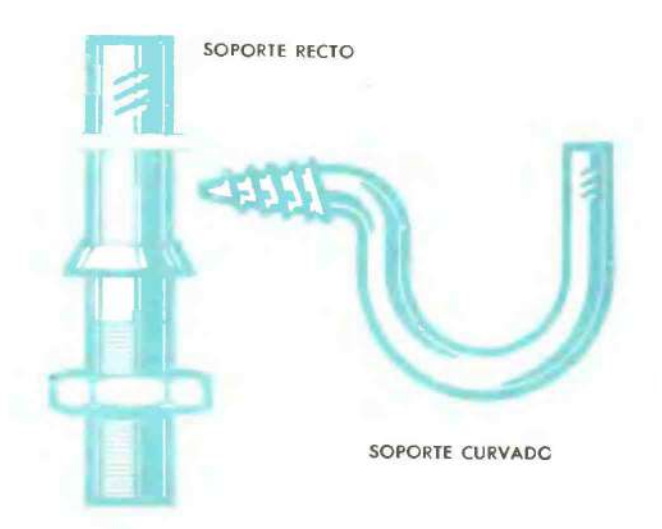
Dividiremos los aisladores, según su función, en AISLADORES FIJOS O DE SOPORTE y en AISLADORES DE CADENA O SUSPENSIÓN.

AISLADORES FIJOS

Estos aisladores se unen a los soportes por medio de herrajes fijos; no pueden, por tanto, cambiar de posición después de su montaje. Su forma es parecida a la de una campana a la que se hubiera practicado una ranura en la parte superior.

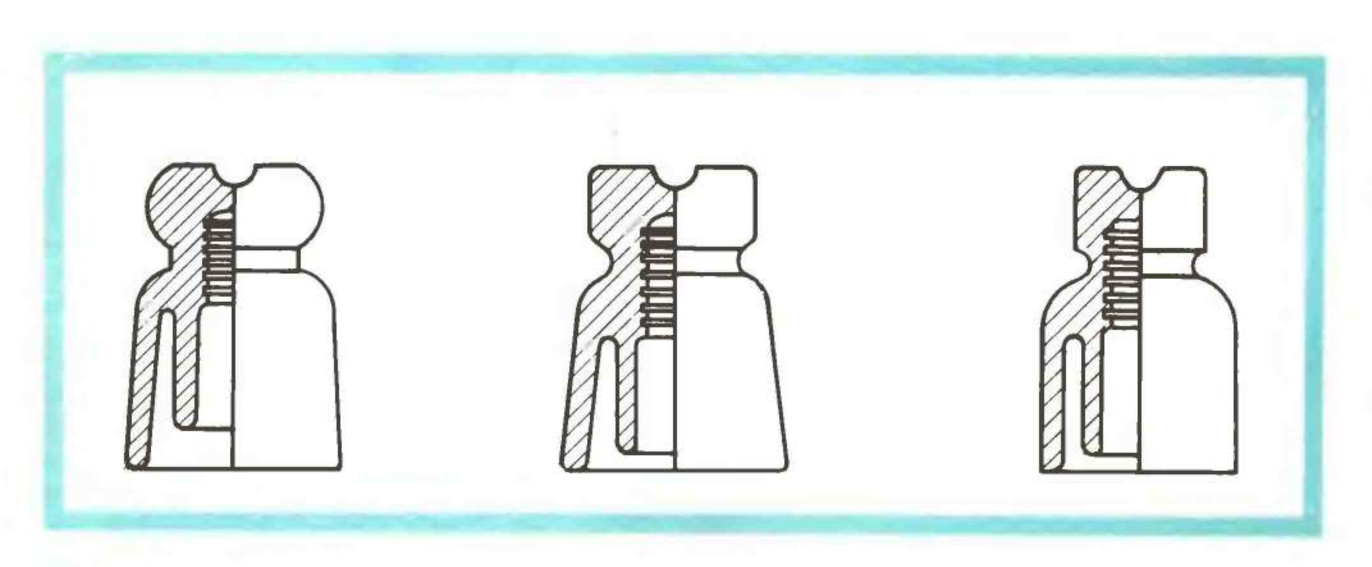
Esta ranura recibe el nombre de *cuello;* en ella se fija el conductor por medio una retención de hilo de cobre recocido, para conductores de cobre; y de hilo de aluminio si los conductores son de este metal. El soporte del aislador (construido en hierro) se cementa en el interior de la campara. Su forma puede ser recta o curvada, según su utilización específica.

En la figura están descritos los dos tipos de soporte más comunes.



El aislador fijo más sencillo es el empleado en las líneas de baja tensión. Damos la representación gráfica de los tres tipos de uso más corriente. En estas figuras se ven con claridad el cuello para la colocación del cable y el estriado interior para la correcta cementación de los soportes.

Estos aisladores pueden utilizarse para tensiones máximas de 500 V.



Si se eleva la tensión, es preciso alargar el camino de fuga, dando a la campana ondulaciones profundas inclinadas hacia abajo. Al aumentar el tamaño del aislador se complica la forma de su campana y resulta difícil construirlo de una sola pieza. Entonces se fabrica acoplando dos, tres o cuatro campanas superpuestas, pegadas con yeso o cemento. Los mayores aisladores fijos utilizables corresponden a una tensión de servicio de 63.000 V. Son piezas de gran volumen, cuyo diámetro y longitud es del orden de 40 cm. Su peso llega a 25 Kg.

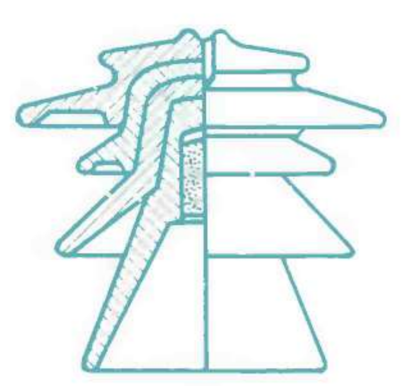
En las figuras puede verse varios tipos de aisladores de media y alta tensión.



Tensión de servicio = = 10.000 V.
Altura = 98 mm.
Ø máx. = 132 mm.
Peso = 1 Kg.



Tensión de servicio = = 25.000 V.
Altura = 178 mm.
Ø máx. = 215 mm.
Peso = 4 Kg.



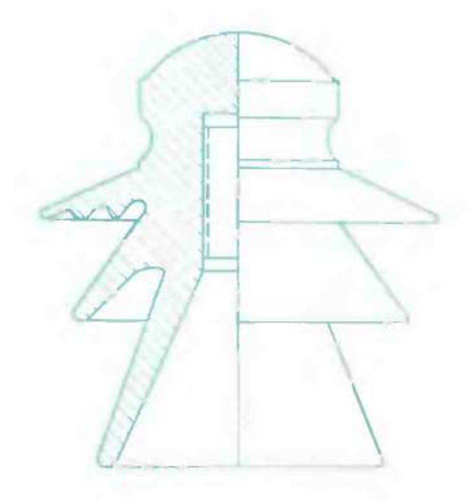
Tensión de servicio = = 60.000 V.
Altura = 368 mm.
Ø máx. = 400 mm.
Peso = 25'200 Kg.

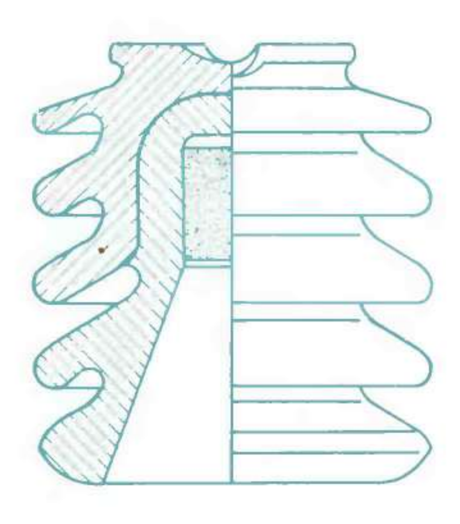
Estos aisladores son los recomendados por el Comité Electrotécnico Internacional y están inspirados en los tipos americanos. Los orificios se tratan con chorro de arena para conferirles una textura superficial que garantice un cementado perfecto para el soporte metálico.

Representamos también un aislador tipo Delta o Europeo. Se construye para tensiones de 5 a 22 KV y lleva un orificio fileteado para cementar el soporte.

Además de los aisladores normales, se construyen otros tipos para usos especiales. Estos aisladores especiales se utilizan en tendidos de línea que, por circunstancias climatológicas de las zonas donde deben instalarse, no permiten el uso de los aisladores normales. Los más empleados son: aislador antiniebla, aislador para zonas próximas al mar, etc.

Reproducimos un aislador antiniebla, por ser el más usado entre los aisladores especiales. Con la idea de reducir el efecto nefasto del depósito de humedad en la superficie de los aisladores, se les ha recubierto con barnices de silicona, de propiedades hidrófugas muy acusadas; por desgracia los resultados no han sido tan satisfactorios como se esperaba.





Tensión de servicio = 25.000 V.
Altura = 240 mm.
Ø máx. = 200 mm.
Peso = 9 Kg.

Las líneas montadas con aisladores fijos producen perturbaciones radiofónicas bien conocidas. Estas perturbaciones parásitas pueden tener orígenes diversos; parece ser que uno de los más importantes se localiza en la zona de fijación del conductor sobre el aislador y su retención. Puede reducirse los parásitos cubriendo la cabeza del aislador y la retención, con un sombrerete metálico redondeado que se conecta al conductor. También se reducen utilizando aisladores provistos de caperuzas metálicas, las cuales llevan una pinza para sujetar el conductor. En la figura reproducimos un aislador de este tipo.

Este tipo de aislador apenas se utiliza en el tendido de líneas. Su uso se reserva como aislador de apoyo en las estructuras destinadas a corrientes de alta tensión.

AISLADORES DE SUSPENSION O CADENA

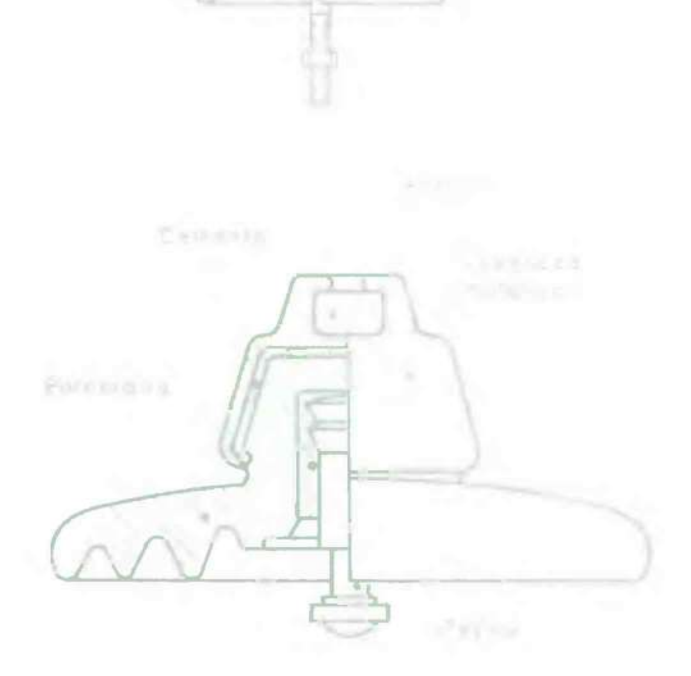
Una cadena de aisladores está formada por la yuxtaposición de dos o más aisladores simples. Se comprende que la cadena tiene por objeto obtener un medio aislante capaz de resistir mayores tensiones de descarga; a simple vista, parece lógico pensar que si V_c es la tensión de descarga que puede soportar un aislador, la que soportará una cadena de *n* aisladores iguales, será $V_c \times n$.

Sin embargo, no ocurre así; sino que en la práctica y por cada elemento se obtienen tensiones menores a medida que crece su número. Este curioso fenómeno es debido a la desigual repartición del potencial a lo largo de la cadena y se explica por la acción de las capacidades propias de los elementos y de las capacidades de sus partes metálicas en relación a tierra y al conductor.

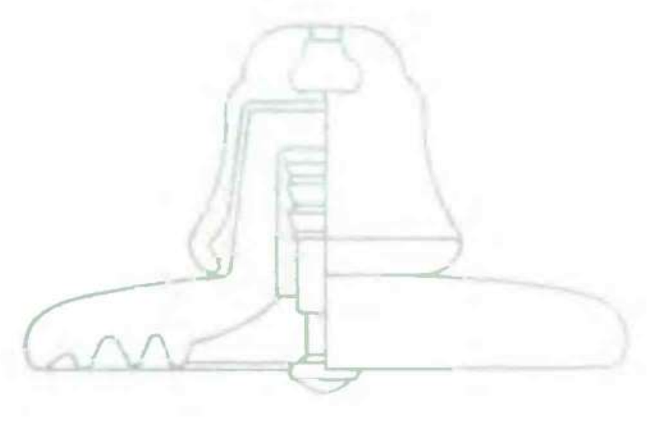
Las cadenas se constituyen con un número de elementos variable según sea la tensión de servicio.

Las cadenas son móviles alrededor de su punto de fijación al soporte; además, las articulaciones entre elementos también deben tener cierta movilidad para que los esfuerzos de flexión sean débiles. Lo usual es que las articulaciones sean del tipo de rótula, que permite una movilidad igual en todas las direcciones.

El elemento suspendido clásico es el AISLADOR DE CAPERUZA Y PERNO. Está formado por una campana de porcelana o vidrio, achatada en forma de disco, que en su parte inferior lleva algunas ondulaciones. Una caperuza de fundición o acero cubre la parte superior de la campana y un perno de acero queda cementado en su parte inferior interna. Pernos y caperuzas se adaptan unos a



Altura = 130 mm.
Ø = 254 mm.
Peso = 5 Kg.
Carga rotura = 6.500 Kg.



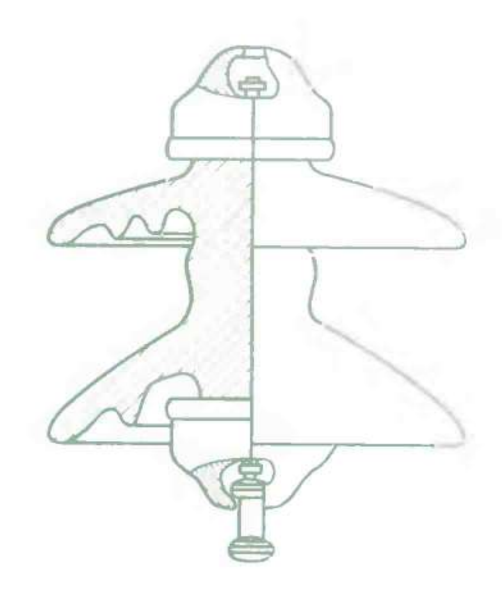
Altura = 130 mm.
Ø = 254 mm.
Peso = 5'340 Kg.
Carga rotura = 9.000 Kg.

otros por medio de una articulación de rótula. El elemento más extendido, en porcelana, tiene un diámetro de 254 mm y una altura de 130 a 150 mm, con una resistencia a la tracción del orden de 9 toneladas. En las figuras verá aisladores de este tipo.

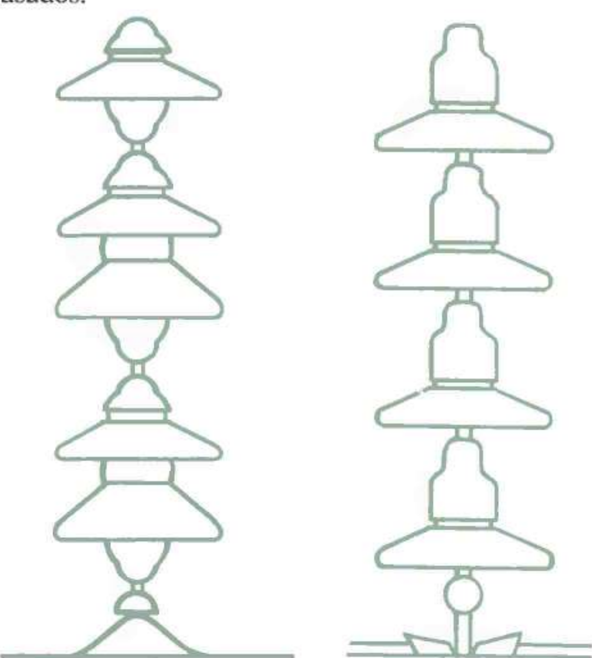
Después del aislador de caperuza y perno, el más extendido, sobre todo en Europa central, es el llamado AISLADOR MOTOR. Este elemento está constituido por una pieza de porcelana prácticamente cilíndrica, provista de dos campanas muy anchas, que en sus extremos lleva sendas caperuzas de igual tipo que las de los aisladores de caperuza y perno. El acoplamiento de los aisladores Motor para formar cadenas se obtiene por medio de *nueces*, que son pernos cortos terminados en rótulas. Desde el punto de vista eléctrico, un elemento Motor equivale a dos aisladores de caperuza y rótula. Reproducimos un aislador de este tipo.

Finalmente, existe un modelo que es una extensión del Motor; es el AISLADOR LANGSTAB; es decir: bastón. Está formado, en efecto, por un cilindro de porcelana de una longitud del orden de 80 cm provisto de grandes y profundas ondulaciones. Termina en dos caperuzas.

Vea en las figuras un aislador Langstad y dos cadenas formadas por los tipos de aisladores más usados.

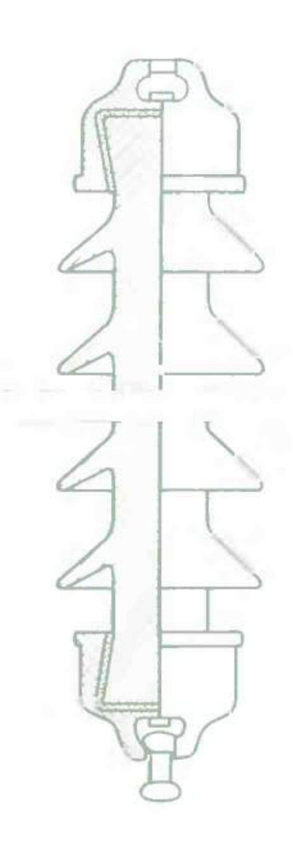


Aislador motor
Altura = 325 mm.
Ø = 250 mm.
Peso = 12'500 Kg.
Carga rotura = 7.000 Kg.



Cadena formada por tres aisladores, tipo motor.

Cadena formada por cuatro aisladores tipo de caperuza y perno.



Aislador de bastón
N.º campanas 9.
Longitud = 895 mm.
Diámetro máximo = 150 mm.
Ø máx. 150 mm.
Peso = 19'60 Kg.
Carga rotura = 8.000 Kg.

ELECCION DE LOS AISLADORES Y ENTRETENIMIENTO

Tres son los motivos que pueden aconsejar la elección de uno u otro tipo de aislador. Después de cuanto llevamos dicho, es inmediato comprender que los aisladores deben elegirse...

En función de la tensión de servicio de la línea y del nivel de aislamiento exigido.

En función de los esfuerzos mecánicos a que estarán sometidos.

En lo concerniente a su naturaleza (fijos o suspendidos), en función del precio de la línea y de sus cualidades propias. Los aisladores fijos parece ser que dan lugar a más perturbaciones que los suspendidos, por razón de su fragilidad intrínseca.

Entretenimiento

La vigilancia de los aisladores implica el descargo o pago de la línea, tras lo que se procede a una inspección de las cadenas o aisladores fijos, cambiando los que parezcan sospechosos para su posterior comprobación en el laboratorio. Lógicamente, al proceder a la inspección se limpiarán los aisladores que presenten cuerpos extraños adheridos, polvo, etc.

SOPORTES DE LA LINEA

Los soportes de las líneas aéreas por lo general son postes de madera o de hormigón armado, pórticos de madera u hormigón armado y torres metálicas de forma e importancia muy variada.

Postes de madera

Generalmente son resinosas las maderas utilizadas en la construcción de postes, y se impregnan con productos antisépticos para protegerlas de los insectos, humedad y hongos.

La duración o vida media de un poste de madera depende esencialmente del trato que ha recibido desde el momento en que ha sido cortado el árbol y de la calidad de la impregnación. La duración de un poste oscila entre diez y cincuenta años.

Numerosos accidentes han ocurrido debido al engañoso aspecto de la superficie de un poste; algunos que parecen sanos están completamente podridos por dentro. Por tanto, es necesario sondar los postes. Uno de los métodos más prácticos es sencillo y directo: golpearlos con un martillo. Por el sonido producido puede saberse si el interior ofrece aún la necesaria consistencia o si, por lo contrario, *suena a hueco*.

Las principales ventajas de los postes de madera son:

Su LIGEREZA, que facilita su transporte y colocación.

Su bajo PRECIO con respecto a los otros tipos de soporte empleado.

Su gran FLEXIBILIDAD. Un poste en madera es capaz de tomar grandes flechas sin romperse.

Su uso queda restringido a las líneas de baja tensión y a líneas de poca longitud, de poca importancia, de media tensión

Postes de hormigón armado

Los postes de hormigón armado se construyen de acuerdo con las técnicas empleadas para la obtención de elementos prefabricados. Son elementos moldeados que deben ser vibrados o centrifugados durante su permanencia en el interior del molde. El centrifugado es la técnica más recomendable. El molde con el hormigón ya colado se hace girar alrededor del eje a gran velocidad, con lo cual la pasta se comprime contra las paredes del molde por efecto de la fuerza centrífuga, mientras que en el núcleo del poste queda un orificio cilíndrico.

Las principales ventajas de los postes de hormigón están en su gran resistencia mecánica, que permite, dentro del volúmenes aceptables, fabricarlos para soportar cualquier esfuerzo.

Con postes de hormigón es posible el tendido de líneas de gran sección con vanos muy largos, por lo que pueden ser usados en líneas de baja, media y alta tensión. Su duración es prácticamente ilimitada.

Torres y postes de acero

Los tubos y perfiles laminados de acero permiten la fabricación de toda clase de soportes, que pueden proyectarse con vistas a resistir los esfuerzos previstos, por grandes que sean. Una de las características más interesantes, con relación a su montaje en el emplazamiento previsto (abrupto muchas veces), es la de poder ser transportados y armados por elementos o piezas, generalmente de tubo o perfil laminado. Las piezas se unen por medio de tornillos o remaches para formar la estructura metálica. La unión de

las distintas piezas puede también hacerse por soldadura.

El problema más crítico a resolver en los soportes de acero es la protección contra los agentes oxidantes. La mejor protección es el cincado en caliente; las piezas se recubren con una película de cinc. Si el tratamiento se ha efectuado a conciencia, el revestimiento tiene gran duración.

Cuando por imposibilidad técnica no pueden cincarse, los elementos que deben formar el soporte metálico se cubren de pinturas especiales.

Pero aunque sean muy buenas las pinturas utilizadas no se puede esperar que su duración sea superior a los diez años. Por lo general es bastante más corta, sobre todo en líneas instaladas cerca del mar. Es necesario, pues, repintar periódicamente los soportes metálicos de las líneas, lo cual obliga a dejarlas fuera de servicio cuando se trata de restaurar sus partes más elevadas cercanas a los cables. Los gastos de conservación son elevados y debe contarse con ellos al valorar el importe de la línea.

Para resolver el problema de la corrosión se ha intentado emplear aleaciones de acero semioxidable, en las que el óxido forma solamente una capa superficial. También se ha hecho pruebas para construir las torres (por lo menos su parte superior) con aleaciones ligeras. Pero su elevado precio no permite aún tener en cuenta estas soluciones.

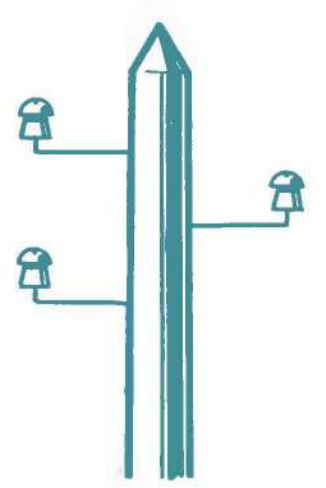
FORMA DE LOS SOPORTES. DIMENSIONES TRANSVERSALES

La forma de los soportes y sus dimensiones transversales están determinadas en primer lugar por la disposición de los conductores, o sea por el tipo de montaje. Se tendrá en cuenta la distancia mínima que es preciso dejar entre los conductores y las piezas metálicas conectadas a la masa, contando con los posibles desplazamientos de los conductores movidos por el viento y otros agentes físicos. También la tensión de servicio y las sobretensiones probables obligan al dimensionado de los postes, dado que de estos datos depende la distancia mínima que deben mantener los conductores como separación constante.

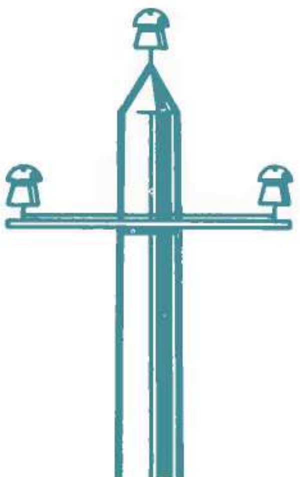
TIPOS DE MONTAJE

Se entiende por tipo de montaje la forma en que se disponen los conductores. Los más corrientes son: montaje en triángulo, en bandera y en plano horizontal.

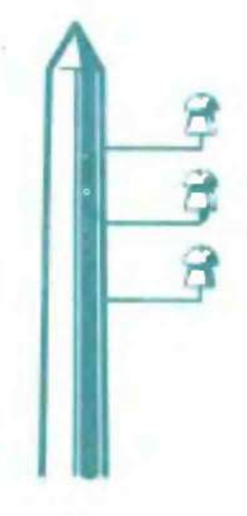
En una misma torre pueden montarse dos líneas trifásicas, siempre que las crucetas se dispongan de forma conveniente. Las siguientes figuras resumen este punto.



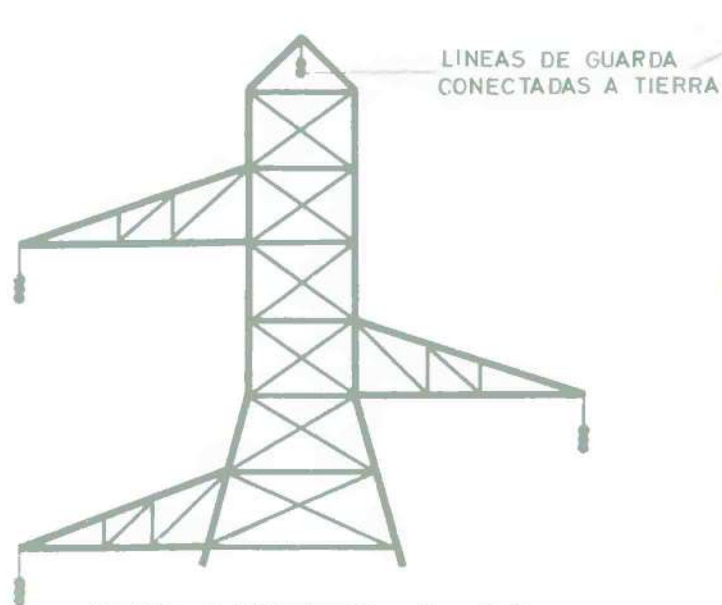
Montaje en triángulo poste de madera u hormigón. Aisladores fijos.



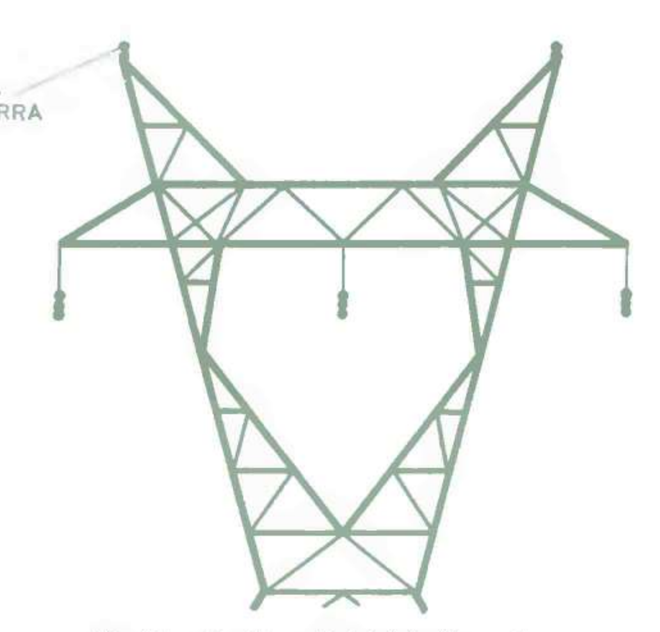
Montaje en triángulo poste de hormigón o madera. Aisladores fijos.



Poste de madera. Montaje en bandera.



Montaje en triángulo. Torre de celosía. Aisladores de suspensión.



Montaje en plano horizontal. Torre de celosía. Aisiadores de suspensión.

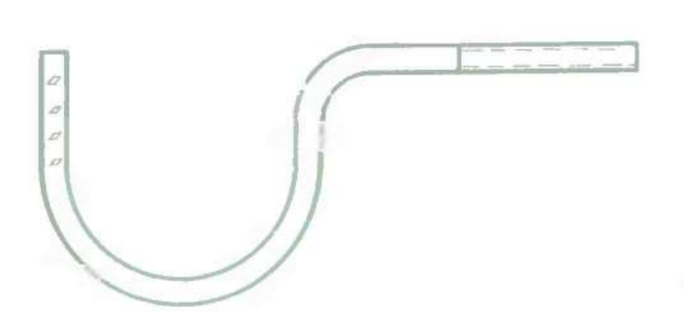
HERRAJES

Hablando de líneas eléctricas, entendemos por herrajes las piezas metálicas que sirven para la unión de conductores entre sí, para sujetar los aisladores a los postes o soportes y para sujetar los conductores a los aisladores.

Los aisladores fijos se sujetan directamente a los postes de madera mediante soportes curvos, y a las crucetas con soportes rectos. Los herrajes acostumbran estar construidos en acero cincado. Para tener una idea exacta de la forma y dimensiones de los herrajes para aisladores fijos, basta con ver los planos que ilustran estas palabras.



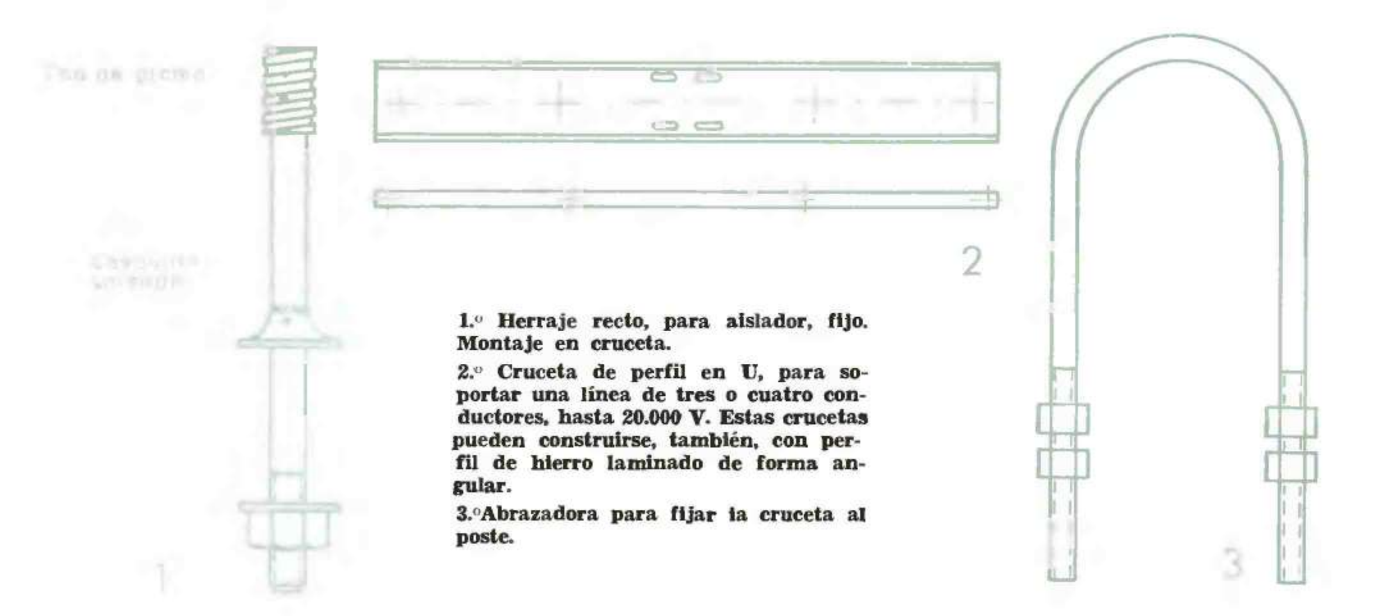
Herraje curvo, para aisiador fijo, directamente roscado a poste de madera. Líneas de baja tensión. Como se ve en ia figura, el aisiador se fija con la cuerda de piomo.



Herraje, igual al anterior. El aisiador se cementa, ias muescas son para el agarre del material.



Herraje curvo, para fijar en cruceta.



1.° Herraje recto, para aislador, fijo. Montaje en cruceta.

2.° Cruceta de perfil en U, para soportar una línea de tres o cuatro conductores, hasta 20.000 V. Estas crucetas pueden construirse, también, con perfil de hierro laminado de forma angular.

3.°Abrazadora para fijar la cruceta al poste.

Para el empalme de los conductores y para las derivaciones necesarias se utilizan distintos sistemas de sujeción que, excepto en la modalidad soldada, se efectúa por medio de herrajes especialmente proyectados para la función que se les encomienda.

MANGUITO DE TORSIÓN. Consiste en un tubo de cobre recocido (para conductores de cobre) o de aluminio (para conductores de aluminio) cuya sección es ovalada. Los conductores a empalmar se entran en este manguito, después de lo cual se procede a retorcerlo. La estría helicoidal que se produce evita que los esfuerzos de tracción desplacen los cables.

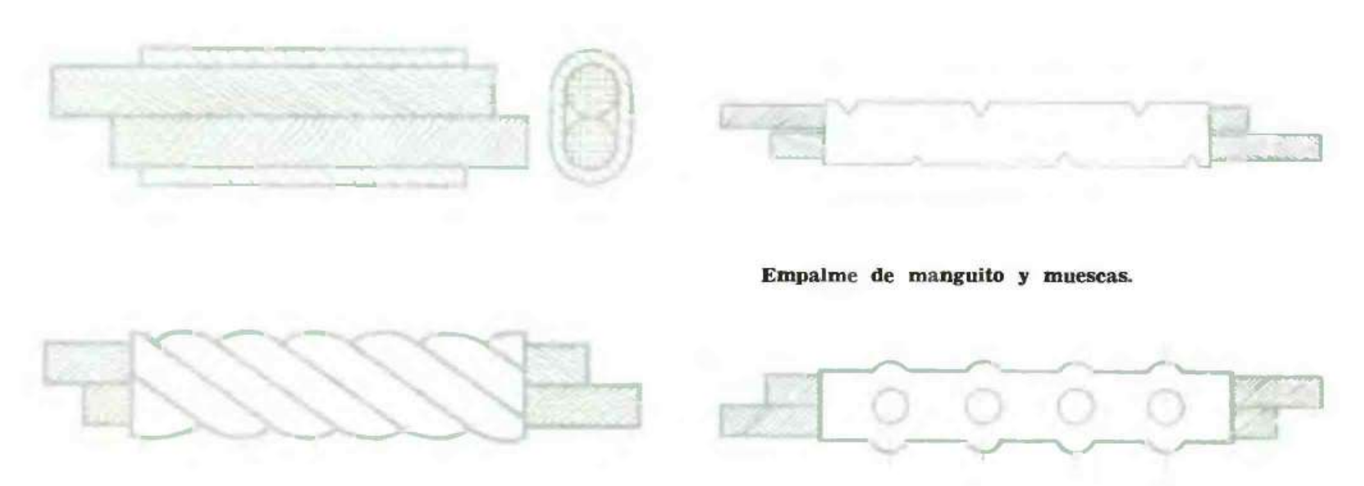
MANGUITOS CON MUESCAS. Está formado por un tubo ovalado, de cobre recocido o aluminio, en el cual se introducen los conductores a empalmar. Luego, con unas tenazas rizadoras, se prensan el manguito y los conductores en distintos puntos.

EMPALME DE MANGUITO Y REMACHE, O MANGUITO Y TORNILLO. Consta de un manguito con varios orificios y ondulaciones laterales. El diámetro de los taladros es tal que, una vez introducido en ellos el oportuno remache o tornillo, se obliga a los conductores a ubicarse en las ondulaciones laterales.

Remachando o apretando fuertemente los tornillos, la sujeción es segura.

EL EMPALME DE TORNILLO Y TUERCA actúa por la presión de dos piezas metálicas con encaje sobre los cables a empalmar.

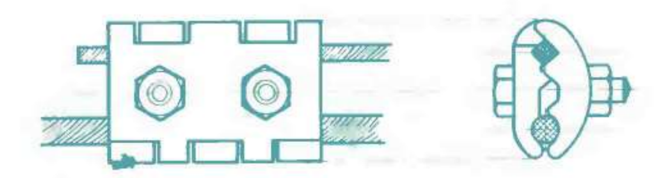
También se emplean los EMPALMES SOLDADOS. Los extremos del conductor se superponen atándolos fuertemente con alambre de retención; luego se procede a soldarlos con gran cuidado.



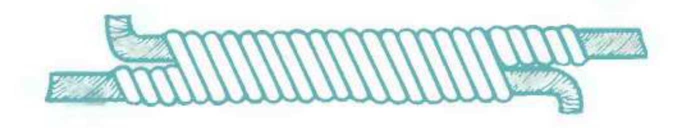
Empalme de manguito y muescas.

Empalme de manguito a torsión. Antes y después de efectuarse ésta.

Empalme de manguito y remache o tornillo.




Empalme de tornillo y tuerca.



Empalme soldado.

MONTAJE DE LINEAS AEREAS

La construcción de una línea es una empresa de gran envergadura, en la que juegan intereses económicos, laborales y sociales que muchas veces adquieren gran complejidad.

Coordinar el trabajo, en empresas de este tipo, es una labor que requiere grandes dotes de organizador para calcular que cada hombre pueda efectuar un trabajo efectivo y coordinado con el que puedan realizar otros operarios que quizás se encuentren a varios kilómetros de distancia. Antes de desplazar el personal a los puntos de trabajo es preciso haber desbrozado el terreno y también haber trasladado el material necesario a los lugares en que había de ser empleado o consumido.

Los trabajos de montaje se dividen en tres etapas:

a) Ejecución de las excavaciones y hormigonado de las bases en los macizos de fundación en que deban apoyarse torres metálicas. Se entiende por base de una torre la parte metálica de la misma que debe quedar embebida en el hormigón y de la que solamente emerge la parte destinada al ensamblaje con la columna.

b) Erección y emplazamiento de los postes, seguido de la colocación de crucetas y aisladores.

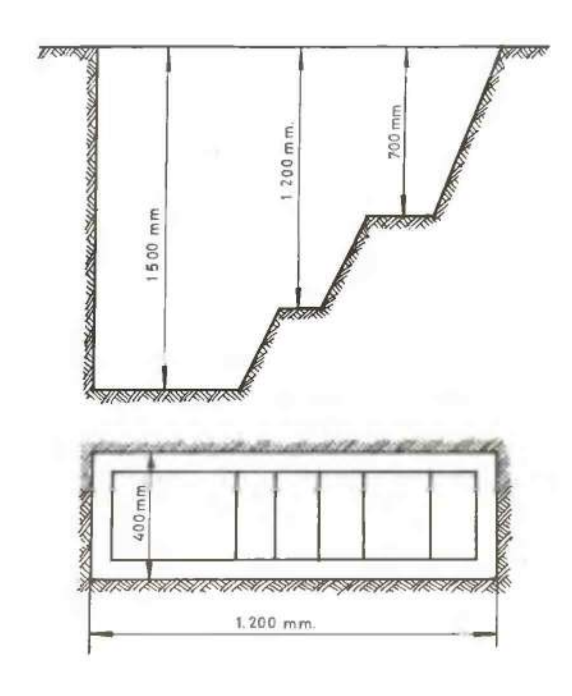
c) Tendido, colocación y tensado de los conductores.

La buena ejecución de estas operaciones sucesivas exige una excelente coordinación de los equipos encargados de cada operación, y también un plan de acopio de materiales rigurosamente definido y controlado para que cada pieza llegue al punto de utilización en el momento preciso.

EMPLAZAMIENTO E IZADO DE LOS POSTES Y TORRES

Para el montaje de los postes es preciso realizar la excavación en el punto de emplazamiento. En la figura representamos una excavación típica para postes de madera u hormigón. Una vez preparada la excavación se acerca el poste a ésta, de manera que su pie quede próximo al agujero; después se levanta y se hace bascular en el agujero. A continuación se coloca en posición vertical y se procede al rellenado y apisonado de la excavación. El sentido de tiro de la línea debe ser el indicado por la flecha de la figura.

Las torres metálicas casi siempre se colocan desmontadas, hormigonando la base antes de izar la torre. Las torres pequeñas se hormigonan formando un solo macizo; pero cuando se trata de torres muy grandes, para ahorrar hierro y hor-





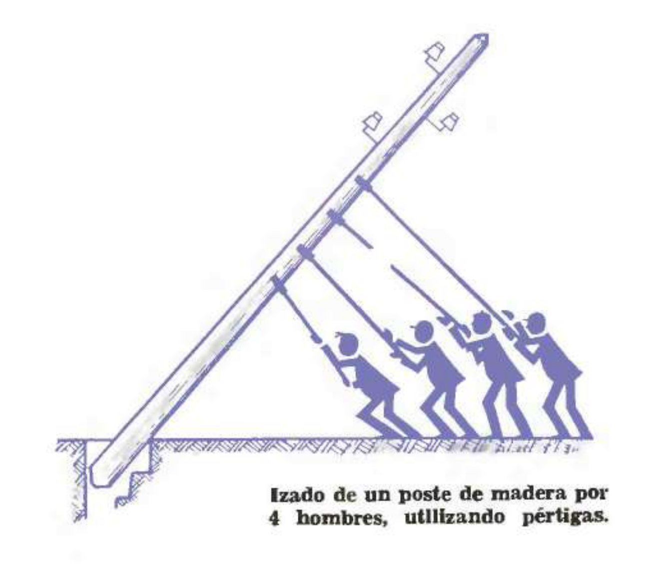
Escavación escalonada para la colocación de postes.

migón, se hormigona únicamente cada una de sus patas en macizos independientes.

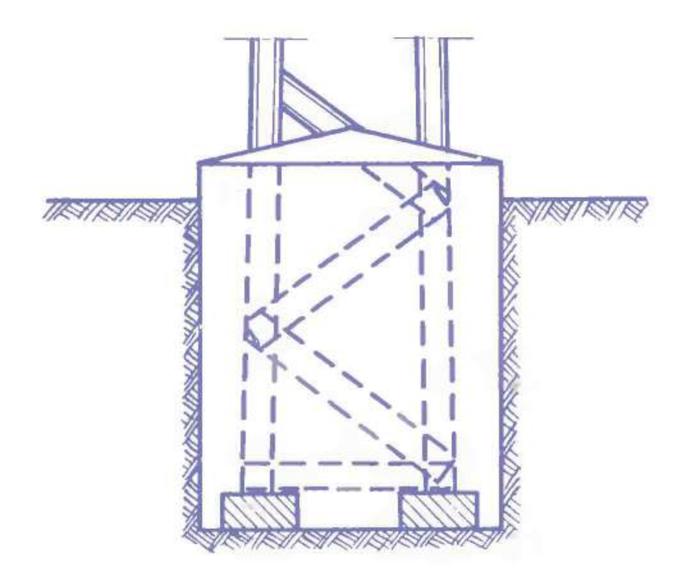
Las torres metálicas por lo común se unen a las bases con pernos y tuercas. Para facilitar su izado se disponen bisagras en dos de los pies; la operación se ejecuta con ayuda de una pluma articulada y un cabrestante.

Cuando se trata de grandes estructuras y se pretende izarlas por el sistema de bisagras descrito, es preciso reforzar dichas estructuras para evitar deformaciones irremediables en la columna.

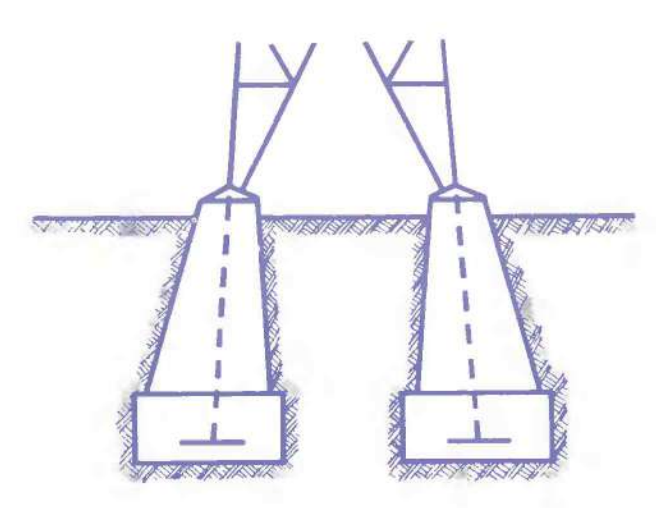
Siempre es más seguro ir montando la estructura a partir de su base hormigonada, ta' y como se hace en la construcción de un edificio.



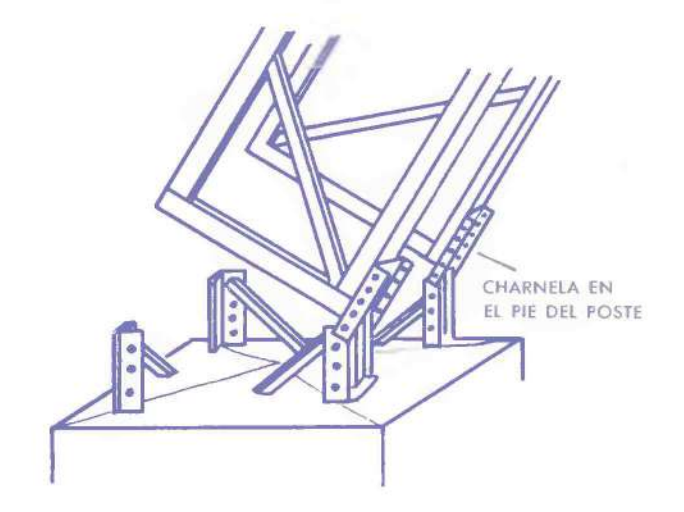
Izado de un poste de madera por 4 hombres, utilizando pértigas.



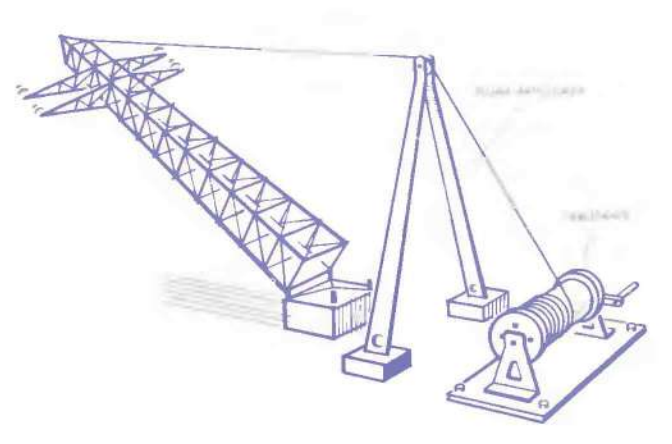
Macizo único.



Macizos independientes.



Dispositivo de charnela o bisagra en el pie d- la torre.



Izado con pluma artic-lada.

TENDIDO, COLOCACION Y TENSADO DE LOS CONDUCTORES

Estas operaciones requieren cierto grado de maestría; saber cuidar algunos detalles que pasan inadvertidos al neófito, pero que pueden tener verdadera importancia para la vida y rendimiento de la instalación.

En primer lugar, cuando el terreno es propicio para tal propósito, deben desenrollarse los conductores, tendiéndolos en el suelo, cuidando con esmero que no se formen nudos o lazos. Si los conductores deben cruzar un camino vial, se protegerán de alguna forma para evitar que puedan ser dañados por el paso de vehículos o animales.

Los cables o hilos se introducen en la garganta de poleas provistas de cojinetes de bolas que se habrán colocado en los puntos donde el conductor quedará sujeto al poste. Estas poleas deben poseer una garganta profunda para que el cable sea conducido con seguridad. Los cables, fijos por un extremo, se tensan tirando del otro con un ternal. La regulación del tensado se hace con un dinamómetro. Después se comprueba la flecha en varios vanos, midiéndola con un teodolito u otro aparato óptico derivado de éste.

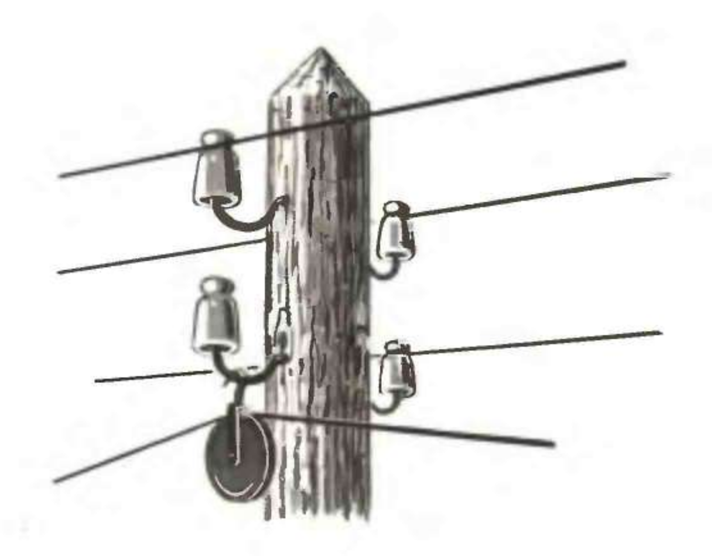
Desenrollar el cable para tenderlo en el suelo a lo largo del tramo de línea a montar tiene el inconveniente de provocar desgastes en el conductor, al rozar éste con piedras, árboles, etc. Además, es impracticable en terrenos accidentados. Se procede entonces al llamado *tendido en tensión,* método que consiste en tender un cable de acero auxiliar por las poleas previamente situadas en los aisladores. Al extremo de este cable se ata el hilo o cable de la línea; y, con una tensión parecida a la que soportará el conductor una vez colocado, se tira del cable auxiliar para que arrastre el de la línea, que va pasando por las poleas preparadas al efecto. Luego se procede a la colocación de los conductores en las pinzas, si se trata de aisladores de suspensión, o a atarlos al cuello de los aisladores cuando son del tipo fijo. Vea gráficamente algunos tipos de retención o atadura.

LAS RETENCIONES DEBEN HACERSE SIEMPRE CON HILOS DEL MISMO MATERIAL QUE EL CABLE. A continuación, en una breve tabla, resumiremos algunas indicaciones o normas que deben cumplirse en la ejecución de las ataduras o retenciones.

Para terminar este estudio sobre el montaje y materiales para líneas aéreas, añadimos cuatro fotografías que representan otras tantas variedades de posibles soluciones.



Dinamómetro



Sección del conductor mm²	Sección del alambre de atadura mm²	Atadura o retención
10 a 35	6	3 vueltas alrededor del aislador
35 a 50	6	4 vueltas
50 a 70	10	3 vueltas
95 a 120	10	4 vueltas

1

2

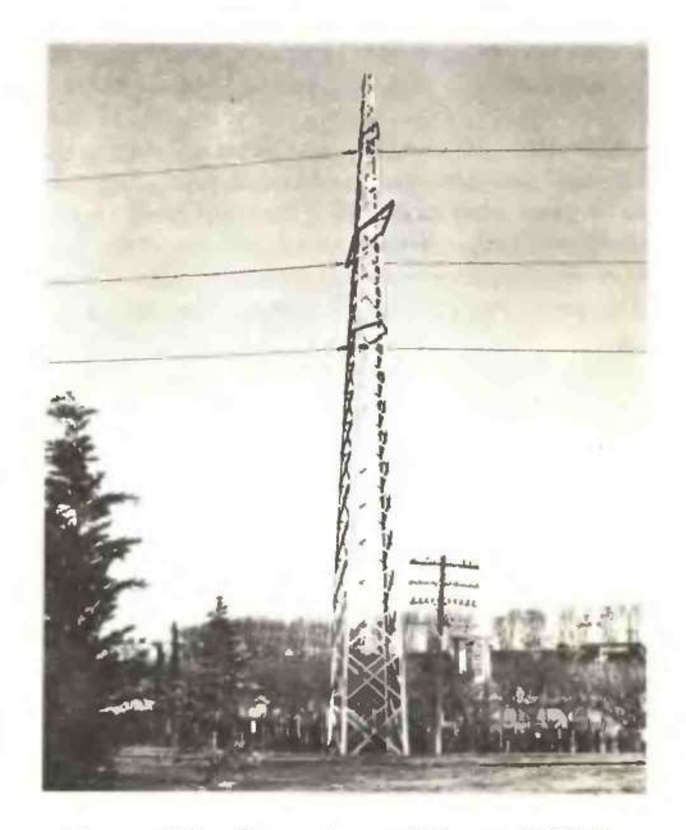
3

4

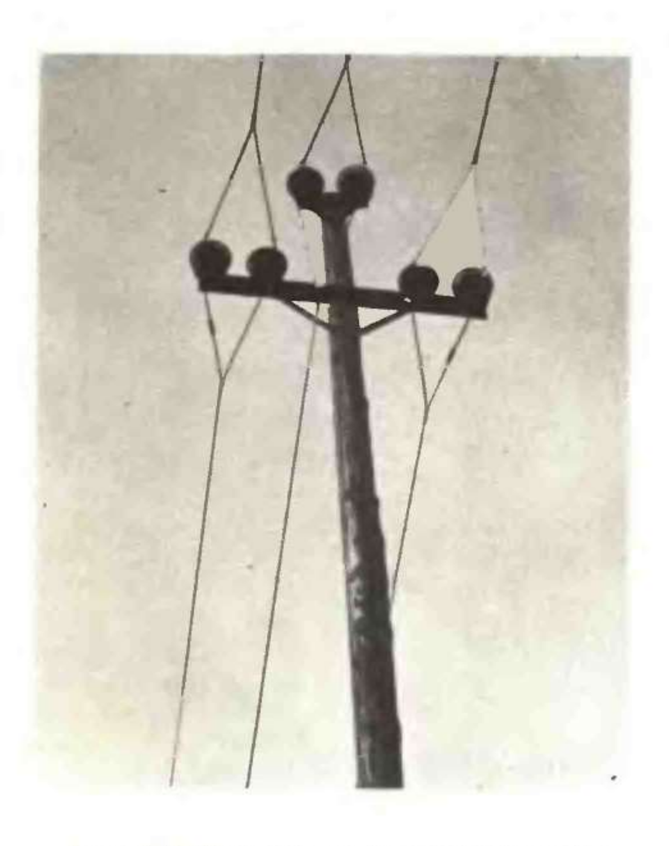
1. Retención sencilla, en poste de alineación. — 2. Retención en ángulo 90°. Lugares de poco espacio. — 3. Retención con derivación. — 4. Retención a 90° en lugares de espacio suficiente.



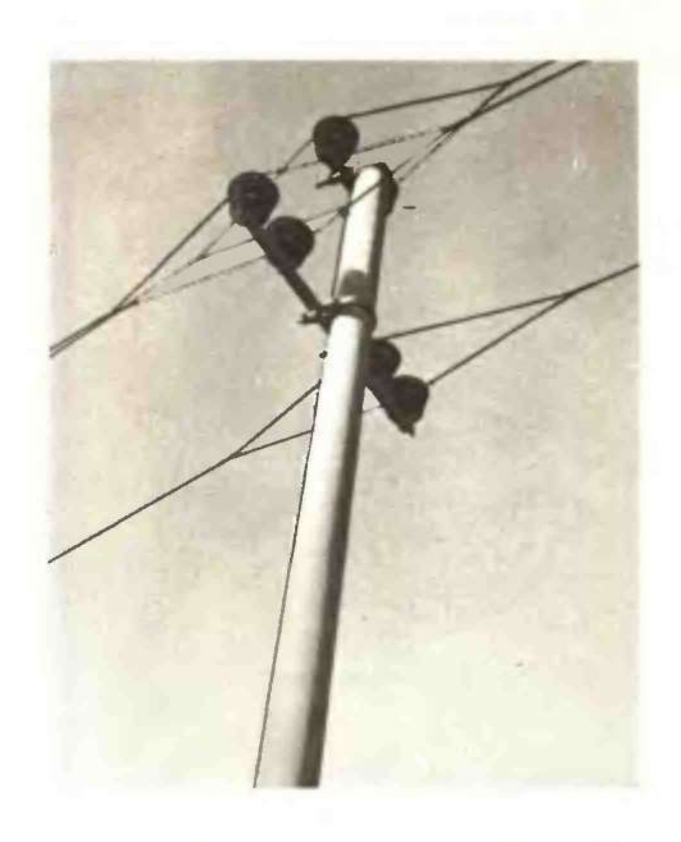
Torre metálica. 2 líneas a 110.000 V.



Torre metálica. Preparada para 2 líneas a 25.000 V.



Lınea de 25.000 V montada sobre postes de madera.



Línea a 25.000 V. montada sobre postes de hormigón.

AVERIAS DE LAS LINEAS AEREAS

Las líneas aéreas están formadas por una gran variedad de elementos sometidos a los rigores que supone su instalación a la intemperie. Vientos, humedad y cambios de temperatura son factores atmosféricos que pueden perturbar de alguna forma el normal funcionamiento de la línea.

Añadamos a estos factores de perturbación, propios de todo montaje al aire libre, los riesgos inherentes al funcionamiento de cualquier instalación eléctrica y tendremos un cuadro completo de las posibles causas de avería en una línea aérea. Ante causas tan diversas no es extraño que las perturbaciones tengan importancia, tanto por su cantidad como por su naturaleza. Está dentro de lo normal, en líneas aéreas, un promedio anual de diez a cincuenta perturbaciones, cifra que depende del tipo de línea, tensión de servicio, edad y situación geográfica.

Los defectos que pueden descubrirse en líneas aéreas tienen mayor o menor importancia, como en cualquier obra salida de las manos del hombre.

Los defectos de las líneas aéreas se dividen en dos categorías: *defectos transitorios* y *defectos permanentes*.

DEFECTOS TRANSITORIOS

Los defectos transitorios son los que desaparecen rápidamente por sí solos sin ninguna acción directa sobre el punto donde se localicen. Los orígenes de los defectos transitorios son muy variados, y la mayor parte de las veces permanecen ignorados. Estos defectos pueden ser provocados por condensaciones (el rocío), la polución de los aisladores, pájaros, pequeñas ramas de árbol o cualquier otra fibra vegetal, etc.

Los defectos transitorios no acostumbran provocar largas interrupciones del servicio y, en general, no deterioran las líneas con carácter grave.

Pero su localización es deseable, a fin de tomar medidas para reducir su número y evitar así el funcionamiento frecuente del material de interrupción. Los defectos transitorios son del orden de seis a diez veces más numerosos que los defectos permanentes.

DEFECTOS PERMANENTES

Los defectos permanentes no desaparecen ni espontáneamente ni por medio de los dispositivos de protección de reenganche automático. Suponen una interrupción prolongada del servicio y obligan a proceder a una reparación más o menos larga. Por tanto es evidente que se precisa conocer algún procedimiento que permita su rápida localización.

Las causas de los defectos permanentes son muy variadas. Con frecuencia es preciso buscar su origen en un fallo del material provocado por una causa de naturaleza catastrófica, como puede ser la caída de un rayo, por ejemplo. Muchos defectos permanentes son el resultado de un deterioro progresivo de los elementos de empalme (manguitos de empalme defectuosos) o de los elementos aislantes (aislador de una cadena perforada), etc.

La búsqueda preventiva de los defectos en evolución lenta permite evitar las interrupciones prolongadas a las que más pronto o más tarde darían lugar.

Estos defectos no pueden descubrirse con una simple inspección de la línea. Es preciso utilizar un método de localización particular para cada tipo de material.

DETECCION O LOCALIZACION DE LOS DEFECTOS LATENTES EN LAS LINEAS AEREAS

Gracias a la posibilidad de llegar, en la mayoría de los casos, a todos los puntos de la línea, un método simple y directo para la búsqueda preventiva de anomalías visibles es realizar visitas periódicas y sistemáticas a lo largo de toda la línea.

Estas visitas se efectuaban generalmente por vía terrestre, y en muchos casos sigue haciéndose así. El helicóptero es una gran ayuda en estos viajes de inspección, ya que este vehículo reduce el tiempo invertido y permite una mejor inspección de la línea. En el curso de estas inspecciones se señalan los aisladores rotos, las ramas caídas sobre los conductores y demás defectos que puedan perturbar el buen funcionamiento de la línea. Para ciertos defectos internos, de hecho indescubribles visualmente, se organizan controles periódicos del material: en particular se procede a la verificación del dieléctrico de los aisladores y del comportamiento de los manguitos de empalme y anclaje en servicio normal. También se comprueba la abertura de las pinzas de suspensión para los conductores, que puede haber variado debido a las vibraciones a que se encuentran sometidos. Esta verificación evita no pocas roturas de los hilos.

DETECCION DE LOS AISLADORES DEFECTUOSOS

El control de los aisladores tiene por objeto verificar que el dieléctrico no esté perforado. No se aplica, por tanto, a ciertos tipos de aisladores que por su concepción están constituidos por un gran espesor de aislante y son prácticamente imperforables, como son los aisladores Motor y de bastón. Otros modelos, que utilizan el vidrio templado, dan lugar a una pulverización espontánea de la parte visible del dieléctrico cuando éste se ha perforado, lo que hace posible efectuar la detección por observación directa de los elementos defectuosos. Los métodos que describimos a continuación están destinados a detectar los fallos en los aisladores de porcelana del tipo de caperuza y perno.

Estos aisladores pueden presentar un aspecto exterior normal y tener, sin embargo, perforado el dieléctrico.

El control de los aisladores puede hacerse cuando la línea está sin tensión o con tensión.

CONTROL DE LOS AISLADORES CON LA LINEA SIN TENSION

El método consiste en aplicar una tensión eléctrica a cada uno de los aisladores de la cadena. Una percha aislada que lleva los electrodos de contacto permite colocar bajo tensión el aisla-

dor. En paralelo con los electrodos se conecta un aparato descargador de chispas, que puede regularse para que su tensión de cebado sea inferior a la tensión de contorneamiento de un aislador sano. Si el aislador ensayado está perforado, en el descargador produce una sucesión de chispas; en caso contrario (cuando el aislador está en buenas condiciones) el descargador no chispea.

Otro método consiste en medir la resistencia de aislamiento del aislador por medio de un aparato del tipo megóhmetro.

Con estos métodos pueden eliminarse los aisladores perforados; pero escapan a la observación aquellos aisladores que sólo están en vías de perforación y que no pueden detectarse más que en el laboratorio.

CONTROL DE LOS AISLADORES CON LA LINEA BAJO TENSION

Todos los métodos consisten en buscar la existencia, en los bornes del aislador ensayado, de una tensión que es función de su posición en la cadena. Si el aislador está perforado la tensión en sus bornes es nula o prácticamente nula. La medida se hace a través de una percha aislada.

DETECCION DE LOS DEFECTOS DEL MATERIAL DE EMPALME Y DE AMARRE (BUSQUEDA DE LOS MANGUITOS DEFECTUOSOS)

Un manguito de derivación o empalme defectuoso se calienta anormalmente en servicio, y puede alcanzar temperaturas tan altas como la de fusión del cable. Los manguitos pueden ser defectuosos por mala concepción o por mal montaje.

La verificación del montaje puede hacerse en el suelo, antes del tendido del conductor, haciendo una radiografía del manguito montado (sistema poco utilizado).

La búsqueda de los manguitos defectuosos en las líneas en servicio se basa en la comparación del calentamiento, o de la caída de tensión del manguito, con el valor de dicho calentamiento o caída que se haya determinado como característico del cable a una cierta distancia del empalme.

MEDIDA DEL CALENTAMIENTO DE LOS EMPALMES DE UNA LINEA EN SERVICIO

El procedimiento más simple consiste en situar un termómetro sobre el manguito. El termómetro se fija sobre un soporte metálico moldeado para que se adapte al manguito o cable; su parte activa, en contacto con el soporte metálico, es aislada térmicamente del exterior. La colocación del termómetro sobre el cable se hace con un globo sonda retenido con cuerdas aislantes de nylon o lanzando por encima del conductor una cuerda aislante, mediante un lanzaamarres, permitiendo así la colocación del termómetro en el punto deseado. Un manguito en buen estado debe tener una temperatura sensiblemente igual a la del cable. Por tratarse de una medida de poca precisión, se puede admitir una diferencia. Toda diferencia en más hace considerar como sospechoso el manguito, el cual debe ser especialmente observado en las inspecciones sucesivas.

MEDIDA DE LA CAIDA DE TENSION EN LOS BORNES DEL MANGUITO

Estando la línea en servicio normal, se mide la caída de tensión entre dos puntos situados a ambos lados del manguito y a igual distancia de él. La caída apreciada se compara con la caída de tensión medida sobre una longitud equivalente de cable; si esta última es menor, el manguito debe considerarse defectuoso. El dispositivo de medida, provisto de dos ruedas, se maniobra desde el suelo por medio de cuerdas aislantes, desplazándolo así hasta el punto deseado. Su colocación encima del conductor se hace desde una torre adyacente al empalme a verificar, utilizando perchas aislantes. La lectura del voltímetro se hace desde el suelo.

LOCALIZACION DE LOS DEFECTOS PERMANENTES

La localización de los defectos permanentes debe hacerse con la mayor rapidez posible y con la máxima precisión, para reducir el tiempo de interrupción en la línea.

Los defectos permanentes se traducen a menudo por la puesta a tierra de uno o varios conductores, por un cortocircuito entre conductores o por la interrupción de un circuito sin puesta a tierra (caso muy raro). Estos defectos pueden consistir además en una falta de aislamiento de la línea (cadena de aisladores perforada a la tensión normal). Descartaremos los casos en que, debido a condiciones atmosféricas especialmente desfavorables, una línea no puede ser mantenida en servicio por presentar un defecto de aislamiento general en toda la línea.

En los circuitos de distribución, de esquema muy complejo, la localización de los defectos permanentes se hace por lo general por eliminación sucesiva de cada sector de línea, a fin de que el sector a aislar por contener la avería sea lo más reducido posible. Así la reconexión del resto del circuito beneficiará a un mayor número de usuarios.

Este método de localización es demasiado largo, debido al gran número de maniobras que es preciso ejecutar; y además no elimina el recorrido a lo largo del sector dudoso para descubrir las causas de su desconexión. Ciertos tipos de protección, llamadas selectivas, operan automáticamente en la separación de la zona defectuosa.

En la actualidad se recurre a sistemas de radar y ondas estacionadas para la localización de los defectos en las líneas aéreas. No damos detalles de estos métodos por su complejidad; nos limitamos a dar fe de su existencia.

LOCALIZACION DE LOS DEFECTOS FUGITIVOS

Como su nombre indica, estos defectos son de corta duración; por tanto, los dispositivos que permiten su detección deben permanecer conectados a la línea, a la espera de la aparición del defecto, y entrar en funcionamiento sin ningún retraso. La puesta en marcha del dispositivo puede provocarse directamente por el estímulo del mismo defecto, o por medio de relés rápidos que actúan en el momento de su aparición. Es preciso que las indicaciones queden registradas para su posterior análisis, cosa que se consigue por procedimientos convencionales, por registros automáticos o cualquier otro procedimiento mecánico-electrónico.

Estos dispositivos, claro, también pueden localizar los defectos permanentes.

LOCALIZACION POR LA MEDIDA DE LA CORRIENTE Y DE LA TENSION EN EL MOMENTO DEL DEFECTO

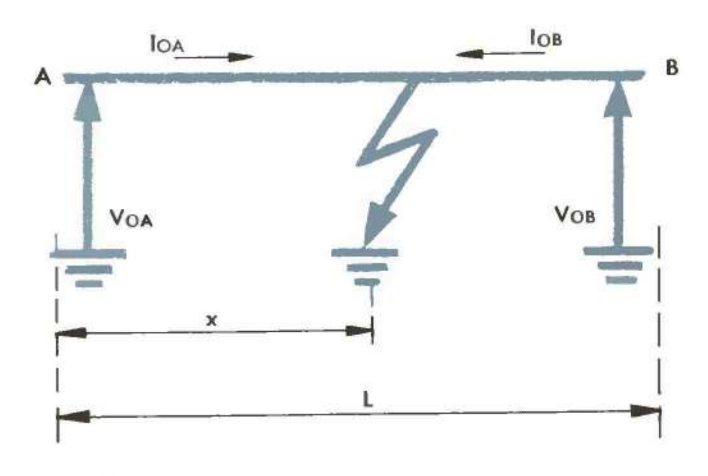
En general este metodo se limita a la búsqueda de los defectos a tierra (los más numerosos), ya que los defectos entre fases precisan un gran número de medidas.

La medida de las componentes homopolares V_0 y I_0 de la tensión y de la corriente se hace simultáneamente en los dos extremos A y B de la línea.

Si x es la distancia de A al defecto, vendrá dada por la relación:

$$x = \frac{V_{OB} - V_{OA} + L_z\ I_{OB}}{Z\ (I_{OA} + I_{OB})}$$

donde Z es la impedancia homopolar kilométrica de la línea, en ohmios.



L = longitud de línea afectada en m.
x = distancia del punto A al punto defectuoso.

ELECTRICIDAD

Lineas subterráneas

Cálculo y estudio descriptivo

Materiales de instalación

Averias y su localización



LECCION Nº 22

canalizaciones eléctricas

2



LINEAS SUBTERRANEAS

Generalidades y cálculo

Emprendemos una segunda y última etapa en el estudio de las canalizaciones eléctricas. Por esta lección conoceremos los pormenores que atañen a las líneas subterráneas. Veremos cómo la mayoría —por no decir la totalidad— de las cuestiones técnicas que se prescribían para las líneas aéreas son válidas también en la modalidad subterránea de las canalizaciones eléctricas. Con esto puede adivinar que las diferencias fundamentales entre ambos sistemas de tendido se encuentran, en lo relativo a cuestiones constructivas, tanto en lo que concierne al montaje de la línea como en las particularidades que su condición de subterráneas exige al material empleado, tanto al que forma el conductor propiamente dicho como al aislante.

LINEAS SUBTERRANEAS
GENERALIDADES Y CALCULO

Las líneas subterráneas son, como su nombre indica, las que están situadas bajo el nivel normal del suelo, bien sea enterradas directamente en zanjas, bien sea montadas en galerías de servicio o en canalizaciones tubulares. Contrariamente a lo que ocurre en las líneas aéreas, en las que se emplean conductores desnudos, en las líneas subterráneas deben utilizarse cables aislados.

Los cables subterráneos (las líneas bajo tierra) se utilizan en las transmisiones de energía eléctrica de alta tensión, en las interconexiones alrededor de las grandes ciudades y en las líneas de distribución urbanas.

Estos cables están aislados con papel impregnado de pastas aislantes.

Los hilos y cables de las instalaciones interiores —conexiones de baja tensión de cuadros y máquinas— están aislados por mezclas de goma y materias plásticas. Los cables aislados con papel impregnado llevan una cubierta exterior de plomo, sobre la cual se enrolla un fleje de acero que le proporciona protección mecánica.

Cálculo

El cálculo de las líneas subterráneas en nada difiere del de las líneas aéreas. Por tanto, remitimos a usted al apartado de la lección anterior que destinamos al cálculo de líneas, sobre todo en lo que concierne a las caídas de tensión, cuyas fórmulas siguen aquí con absoluta vigencia.

CABLES PARA INSTALACIONES SUBTERRANEAS

Conductores

Los conductores están formados por un cableado de hilos de cobre electrolítico recocido o por hilos de aluminio semiduro. En la tabla siguiente damos las principales características de los materiales empleados para la fabricación de conductores.

	COBRE	ALUMINIO
Resistividad a 20° C, en ohmios m/mm²	0'01724	0'0282
Coeficiente de variación de la resistencia por °C	0'00393	0,004
Resistencia a la rotura, en kg/mm²	22 a 25	13 a 17
Densidad, a 20° C	8'89	2'72
Coeficiente de dilatación lineal por C°	0'000017	0'000023

La relación de las secciones de aluminio y cobre para dos conductores de la misma resistencia e igual longitud es igual a $2'82/1'72 = 1'64$; y la relación de los pesos es igual a $1'64 \times 2'72/8'89 = ½$. El aluminio parece, pues, preferible, mientras su precio no llegue al doble del que tiene el cobre. Sin embargo, el mayor diámetro de los conductores de aluminio, comparado con el del conductor de cobre equivalente, hace aumentar los pesos de aislantes, plomo y armadura. Lo que puede parecer un ahorro es un gasto mayor, lo que hace preciso estudiar en cada caso particular la economía eventual debida al empleo del aluminio.

Los hilos elementales de los conductores están cableados en hélice y por capas regulares. Tanto los diámetros de los hilos como el de los cables están normalizados.

Composición de los conductores redondos

La composición de los conductores redondos obtenidos partiendo de un solo hilo central es:

$$1;\ 1 + 6 = 7;\ 1 + 6 + 12 = 19;$$
$$1 + 6 + 12 + 18 = 37;\ \text{etc.}$$

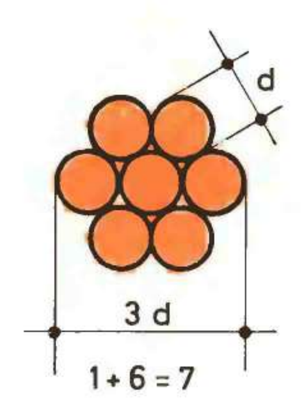
Los diámetros correspondientes son: **d**; 3 **d**; 5 **d**; 7 **d**; etc., siendo *d* el diámetro de un hilo. Partiendo de un alma central compuesta de tres hilos tendremos la serie:

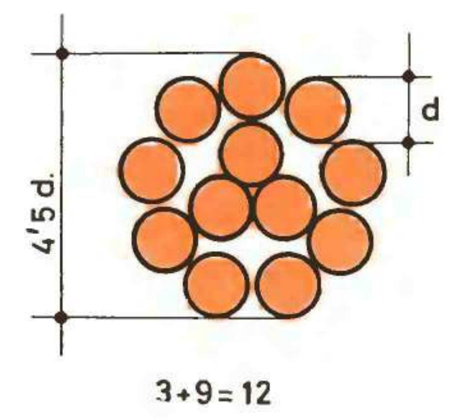
$$3;\ 3 + 9 = 12;\ 3 + 9 + 15 = 27;\ \text{etc.,}$$

a los cuales corresponden los diámetros: 2'15 **d**; 4'15 **d**; 6'15 **d**; etc.

Sección y diámetro

La sección de un conductor es igual al producto del número de hilos por la sección de cada hilo. El diámetro de un conductor cableado regularmente, partiendo de un hilo al centro, es aproximadamente igual a 1'3 s. En la figura vemos la composición de un cable con hilo central y de otro formado por alma de tres hilos.

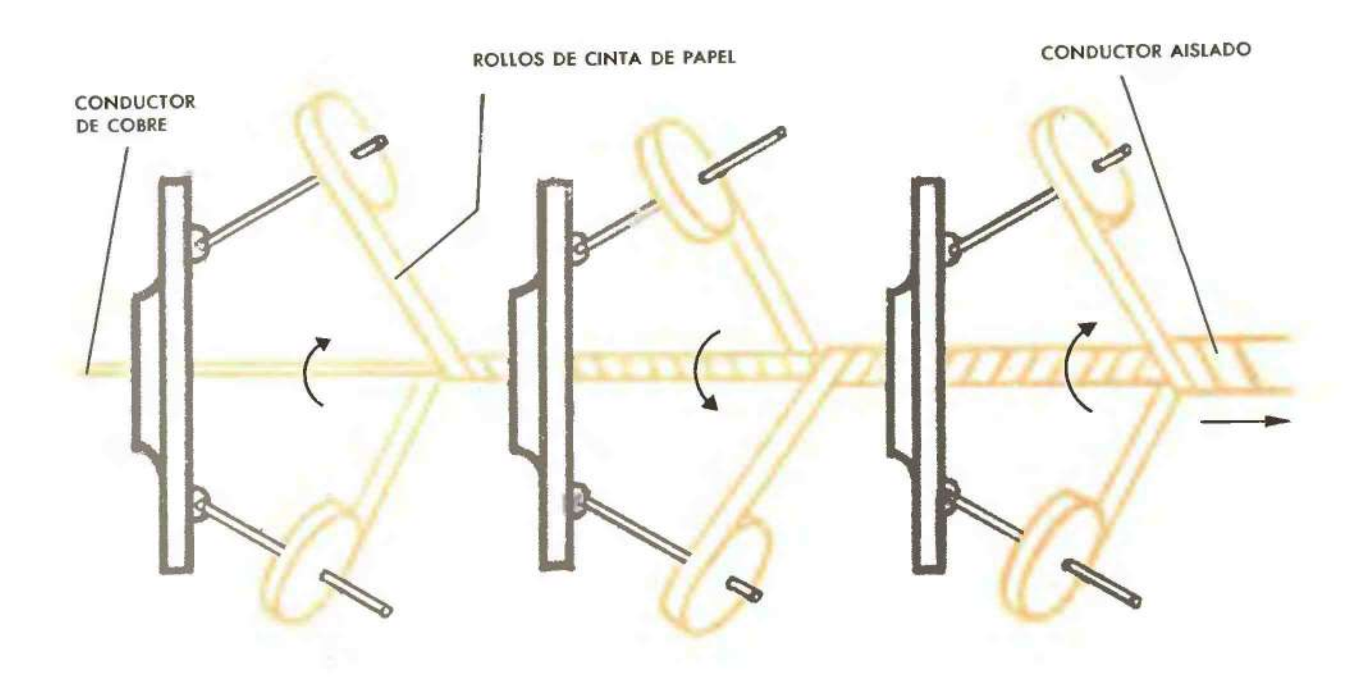




AISLAMIENTOS

Arrollados de papel

Los conductores están revestidos por cintas de papel enrolladas sobre ellos, secadas e impregnadas con pastas aislantes. Las tiras de papel utilizadas en las máquinas de arrollado tienen un ancho de 10 a 30 mm y un espesor de 0'06 a 0'15 mm. Estas cintas quedan enrolladas en hélice por capas superpuestas, operación que se verifica en máquinas cuyo principio muestra la figura adjunta, donde puede apreciarse que las capas de papel se enrollan en sentido alternado. Normalmente, los papeles para cables están formados por fibras de pasta de madera resinosa de alta resistencia mecánica. Los papeles compactos, menos permeables a los gases, se utilizan en las proximidades del conductor. Donde la solicitación del dieléctrico es más fuerte, la pureza y calidad del papel se controlan midiendo sus pérdidas dieléctricas. Los espesores radiales de las capas de papel superpuestas para formar el aislante varían de 1'5 mm a 25 mm, según la tensión de trabajo del cable, que puede llegar, en tendidos de muy alta tensión, hasta 400.000 voltios.



Montaje de los conductores aislados

Una vez aislados, los conductores son cableados entre sí, intercalando fibras de yute o cuerdas de papel para rellenar los huecos y formar un conjunto compacto y cilíndrico, el cual puede estar recubierto por un encintado de papel, como ocurre con los cables tripolares normales. En la figura pueden verse los detalles del montaje de un cable tripolar.

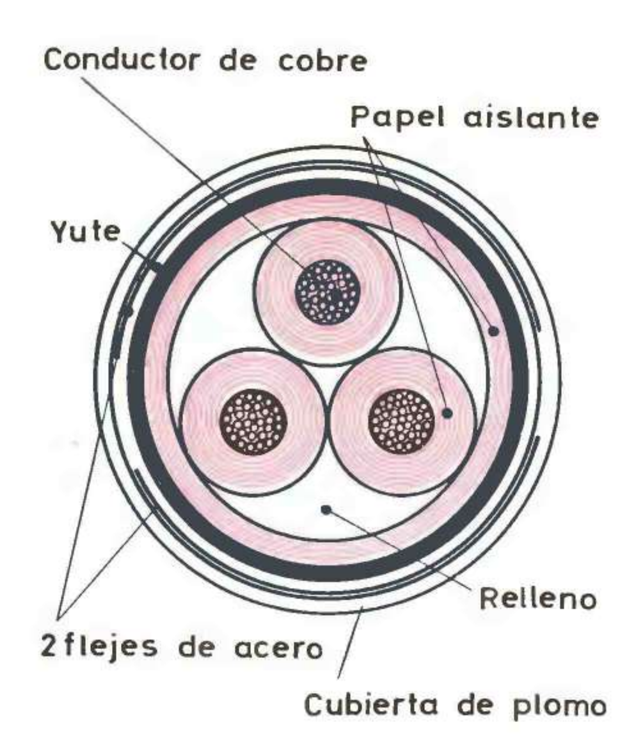
Secado e impregnación

Para secar el papel y extraer todo el aire ocluido, se coloca el cable en una estufa a 110° C, en la que se hace el vacío por medio de una bomba adecuada. Después del secado, que puede durar de uno a ocho días según el espesor del aislante, se procede a la impregnación con barniz aislante, operación que se realiza a 125° C. Antes de recubrir el cable con su cubierta de plomo debe dejarse enfriar hasta 35° C.

Protección. Cubierta de plomo

El aislante se protege contra toda introducción de humedad por medio de un tubo de plomo, moldeado alrededor del cable a una presión de 4000 kg/cm² aproximadamente y a una temperatura de 195° C. La operación se efectúa en una prensa hidráulica. Los espesores de la cubierta de plomo dependen del diámetro del cable tomado sobre el aislante; pueden deducirse por esta fórmula aproximada: $0'9 + 0'003$ D. D es el diámetro en mm tomado sobre el aislante. Para un cable de $D = 30$ mm el espesor de la cubierta de plomo será:

$$0'9 + 0'003 \times 30 = 0'99 \text{ mm}$$



Armadura y protección exterior

Además de la protección de plomo, es corriente que dicho plomo se proteja a su vez con una capa endurecida, formada por dos capas de papel asfaltado, una armadura de dos flejes de acero dulce y un colchón de yute asfaltado.

La armadura de fleje es una protección que no siempre es imprescindible; depende en gran manera de los esfuerzos mecánicos a que deba quedar sometido el conductor.

CABLES PARA ALTA Y BAJA TENSION

Cables de varios conductores redondos o sectoriales

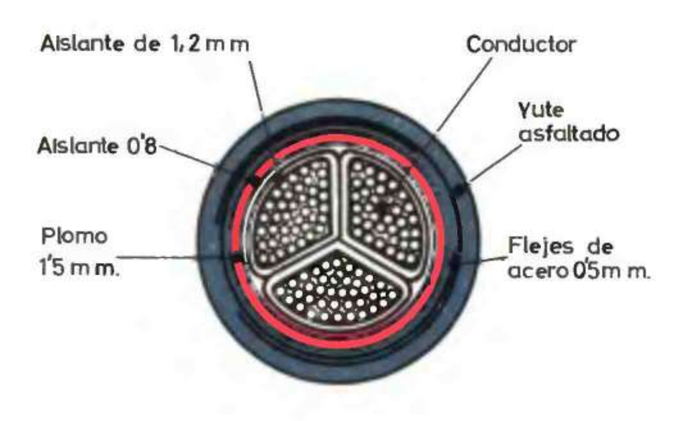
La figura anterior representa un cable trifásico de tipo normal, muy empleado para baja y media tensión hasta 20000 voltios. Sus tres cables son de sección circular, lo que obliga a contar con mucho espacio perdido. En comparación con la sección de la parte conductora, la sección total del cable trifásico es muy grande. Pues bien; para reducir la sección total de los cables conductores, se da forma de sector circular a la parte conductora propiamente dicha. Así, para una misma sección de conductor se reduce considerablemente el diámetro total del cable.

En la figura representamos un cable sectorial armado.

Cable triplomo

En los cables normales precedentes, el aislante está sometido a un campo giratorio elíptico debido a las fuerzas tangenciales que originan las distintas capas del papel. Para evitar los deterioros ocasionados por este campo giratorio en los cables a más de 20000 voltios, cada uno de los conductores se protege con una cubierta de plomo independiente. En la figura se representa un cable de este tipo.

En los cables triplomo, la evacuación del calor es mejor que en los sistemas precedentes; el cable es más sólido y los tres cables unipolares pueden separarse con facilidad para la instalación de las cajas de empalme y capas terminales.



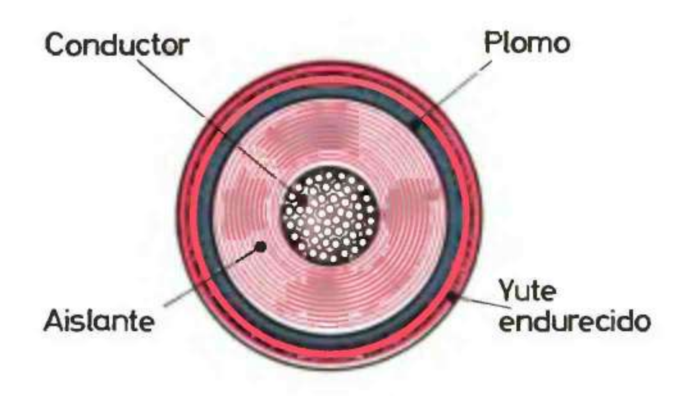
Cable sectorial armado 3 × 75 mm², 3.000 V conductor de aluminio. Diámetro sobre plomo = 29'4 milímetros. Diámetro exterior = 38 mm.

3 conductores de 150 m.m.2
Cubierta de plomo
Diametro sobre el plomo
39,65 mm.
Relleno de Yute
Aislante
Hilos de Yute asfaltado
2 flejes de acero
Papel asfaltado
DIAMETRO EXTERIOR
100 mm.

Cable triplomo a 3 conductores 3 × 150 mm². Tensión de servicio = 50.000 voltios.

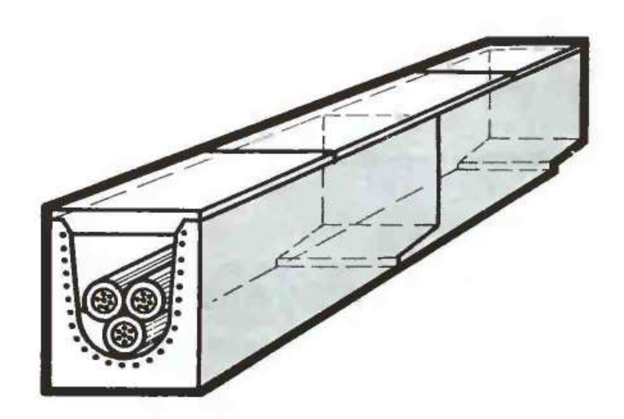
Cables unipolares

Para tensiones de servicio superiores a 50000 voltios se emplean cables de un solo conductor bajo plomo, sin armadura magnética. Su adopción para altas tensiones no obedece a razones técnicas, sino a la dificultad de colocación de los grandes cables de tres conductores. Vea la representación de un cable unipolar.



Las canalizaciones trifásicas para altas tensiones están formadas por tres cables unipolares iguales, colocados en un canal de cemento. Las corrientes que recorren los conductores engendran en las cubiertas de plomo fuerzas electromotrices de inducción proporcionales a la longitud de los cables. Para derivar estas corrientes inducidas, los cables se colocan entre sí lo más cerca posible. Además, las cubiertas de plomo se unen eléctricamente de trecho en trecho.

A continuación damos una tabla de intensidades máximas admisibles, en servicio permanente, para cables de distintas secciones y a varias tensiones de trabajo.



Canalización trifásica ubicada en un canal prefabricado en cemento.

Intensidad máxima admisible para servicio permanente, en cables con conductores de cobre, en condiciones normales de instalación

Sección nominal	Corriente continua		Corriente alterna										
	Cable 1 cond.	Cable 2 cond.	Cable 2 cond.	Cable 3½ cond.	Cable de 3 conductores						Cable tipo 3 plomo (3P)		
	Hasta												
mm²	1 kV	1 kV	1 kV	1 kV	1 kV	2 kV	4 kV	7 kV	11 kV	15 kV	20 kV	25 kV	30 kV
	Ampere												
2,5	40	30	30	24	25	24	—	—	—	—	—	—	—
4	55	42	42	35	36	35	33	—	—	—	—	—	—
6,3	70	55	55	47	48	46	43	41	—	—	—	—	—
10	95	73	73	63	65	63	59	56	—	—	—	—	—
16	130	97	97	85	87	84	79	75	71	70	78	—	—
25	170	125	125	108	110	107	102	98	94	93	103	100	—
40	230	162	162	148	150	137	131	126	121	120	137	134	133
50	260	188	188	162	166	161	154	148	142	140	157	153	152
63	300	218	218	187	192	185	176	170	164	162	179	175	174
80	345	250	250	220	226	216	206	199	191	188	208	204	202
100	400	282	282	253	260	250	238	230	219	215	243	238	236
125	460	327	327	290	298	287	272	263	252	246	280	274	272
160	530	371	370	335	345	334	318	306	291	287	319	310	308
200	600	430	415	372	385	380	362	347	329	319	361	350	346
250	685	490	460	415	432	425	407	389	365	353	411	396	391
315	785	561	515	466	482	470	452	—	—	—	—	—	—
400	910	643	580	—	570	513	—	—	—	—	—	—	—
500	1035	735	630	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
630	1190	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
800	1380	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1000	1585	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Condiciones normales de instalación

Se considera como normal el caso de un solo cable enterrado en toda su longitud en una zanja de profundidad no inferior a 70 cm en terrenos de resistividad térmica media.

Pues bien; en las condiciones que acabamos de dar como normales, la temperatura máxima admisible en el conductor de un cable en servicio no debe rebasar 80° C. La temperatura del subsuelo no será superior a 35° C.

Si las condiciones de instalación se apartan de las anteriores, deben reducirse las cargas admisibles de la forma siguiente:

Cables no enterrados o en malas condiciones de enfriamiento ... ... 20 %
2 cables en una misma zanja ... ... 10 %
3 cables en una misma zanja ... ... 15 %
4 cables en una misma zanja ... ... 20 %
6 cables en una misma zanja ... ... 25 %
Cables en conducciones multitubulares ... 30 %

En la tabla se dan las intensidades máximas admisibles, en servicio permanente, para tres cables de un conductor de cobre:

Sección nominal mm²	Tensión hasta									
	1 kv	2 kv	4 kv	7 kv	11 kv	15 kv	20 kv	25 kv	30 kv	35 kv
	Ampere									
2,5	35	35	—	—	—	—	—	—	—	—
4	50	50	46	—	—	—	—	—	—	—
6,3	65	65	61	58	—	—	—	—	—	—
10	85	85	81	78	—	—	—	—	—	—
16	115	115	110	106	100	95	91	—	—	—
25	145	145	140	136	130	124	120	113	—	—
40	190	190	185	179	172	165	160	153	147	—
50	215	215	210	200	194	186	180	172	165	158
63	242	242	236	227	218	210	203	194	186	178
80	278	278	271	261	251	242	235	224	214	204
100	315	315	308	298	287	278	270	257	245	233
125	350	350	341	330	318	308	298	283	269	255
160	398	398	389	377	363	353	341	323	306	289
200	450	450	440	426	410	400	385	365	345	325
250	500	500	490	473	455	445	429	407	386	365
315	552	552	541	524	506	496	480	456	433	410
400	610	610	599	580	560	548	530	505	480	455
500	660	660	648	628	607	584	575	550	—	—
630	710	710	699	678	656	642	622	—	—	—
800	745	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1000	770	—	—	—	—	—	—	—	—	—

La intensidad admisible, con corriente alterna, para cables unipolares debe calcularse en cada caso por separado, en función de la distancia y disposición de los cables entre sí.

Los valores indicados corresponden a un terno de cables sin armar y enterrados directamente con un espacio libre de 8 cm entre los mismos. Los tres tubos de plomo estarán conectados en cortocircuito entre sí y a tierra en ambos extremos de la línea por lo menos.

LOS CABLES DE FABRICACION NORMAL

A continuación trataremos de los elementos constitutivos de los distintos tipos de cable de fabricación normal.



Cable unipolar.



Cable multipolar.



Cable tres plomos.

Cables unipolares

Están formados por un conductor redondo de cobre recocido, recubierto con una envoltura aislante formada por varias capas de papel impregnado al vacío con pastas aislantes. Sobre el papel se dispone un tubo de plomo sin costura. Para proteger el plomo de los agentes exteriores puede llevar un fleje metálico, o simplemente una capa de yute.

Cable multipolar

Consta de dos o más conductores redondos de cobre recocido. Sobre cada uno de los conductores se aplica una envoltura aislante formada por varias capas de papel. Los conductores aislados se cablean entre sí y se recubren por una envoltura aislante del mismo grueso que la anterior. El papel se impregna al vacío con pastas aislantes, y el conjunto se recubre con un tubo de plomo sin costura. Eventualmente pueden llevar una protección externa

Cable con tres tubos de plomo (triplomo)

Su constitución es la misma que la de los cables multipolares, con la variante de que cada conductor, una vez aislado, se recubre con una camisa de plomo. Una vez cableados, los tres conductores se recubren con una cinta textil alquitranada. Estos cables deben protegerse con esmero de los agentes exteriores, para lo cual llevan siempre una protección de fleje de acero y un encintado de yute alquitranado.

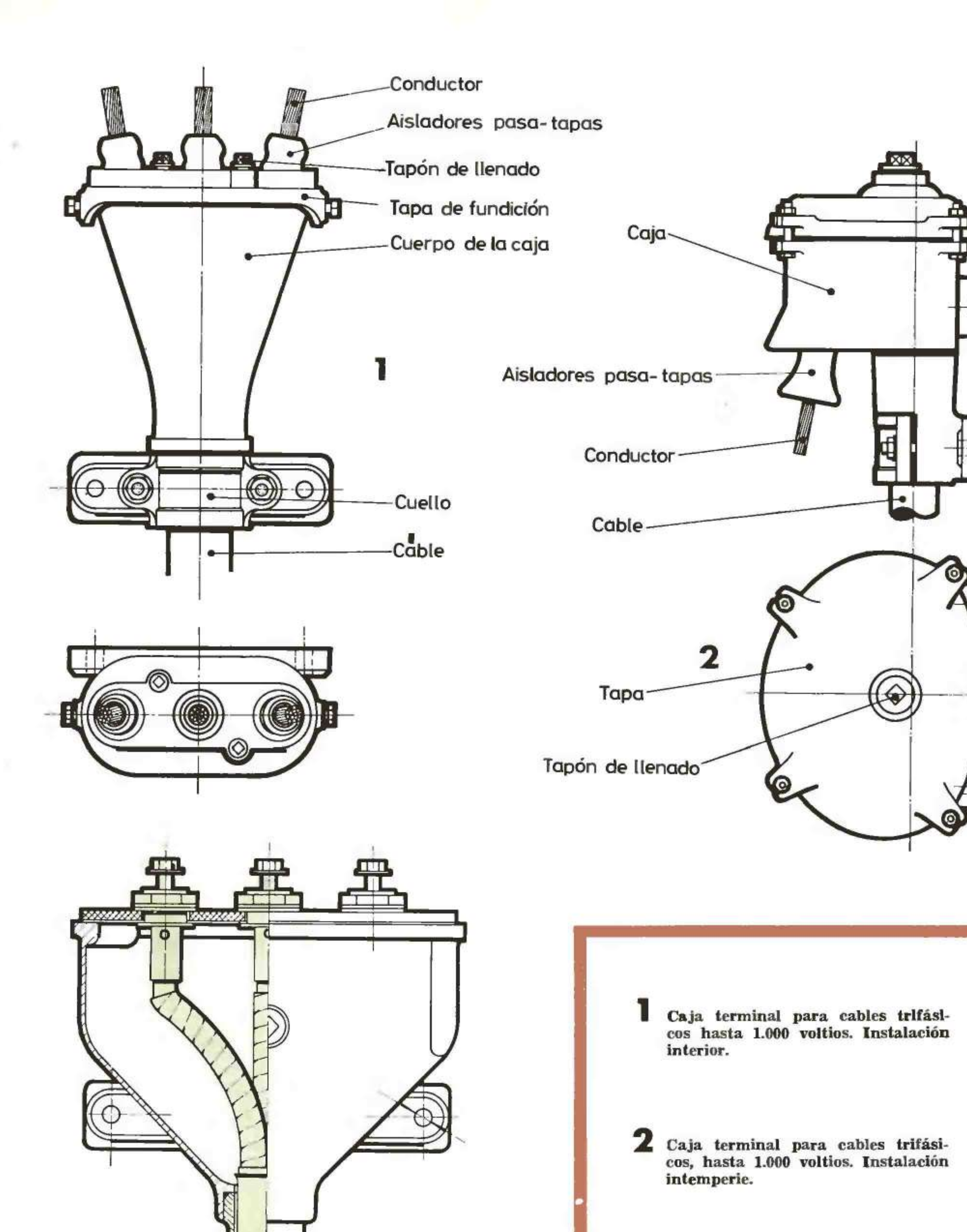
ACCESORIOS PARA CABLES CON AISLAMIENTO DE PAPEL

Cuando en una línea se encuentra un final de cable, que debe empalmarse a otro tipo de conductor o a un aparato determinado, el paso de uno a otro medio conductor no puede hacerse de cualquier manera, sino todo lo contrario. Deberán emplearse unas cajas especialmente ideadas para preparar los extremos de los cables. Son las CAJAS TERMINALES, cuya primera virtud debe ser la total acción antihumedad.

Sólo una construcción y montaje especial será garantía suficiente de que se evita, por completo, la entrada de vapor de agua en el interior de la caja terminal del cable.

Tales cajas se construyen, normalmente, de fundición de hierro o de siluminio (una aleación de aluminio) y tienen la forma requerida por su aplicación específica (situación, tensión de la línea, etcétera).

Ahora, tenga la bondad de examinar la representación gráfica de los tipos de cajas terminales más utilizadas en el difícil quehacer de la instalación de líneas subterráneas.

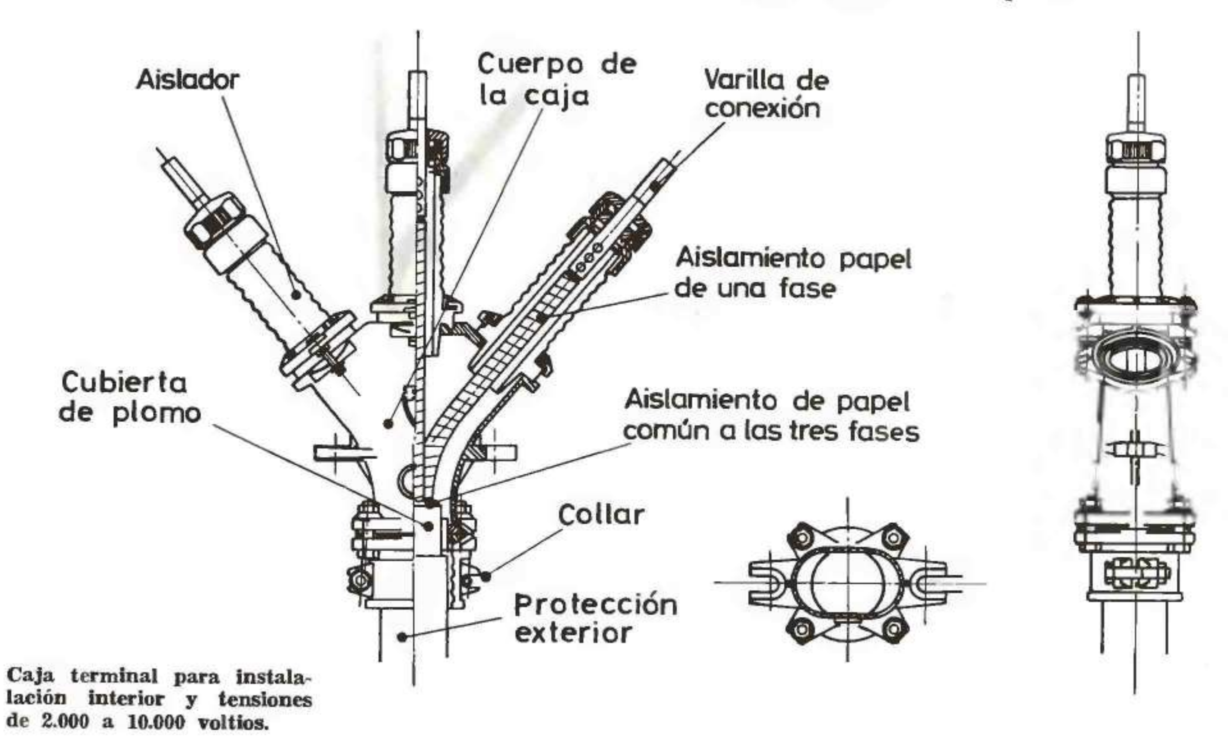


1 Caja terminal para cables trifásicos hasta 1.000 voltios. Instalación interior.

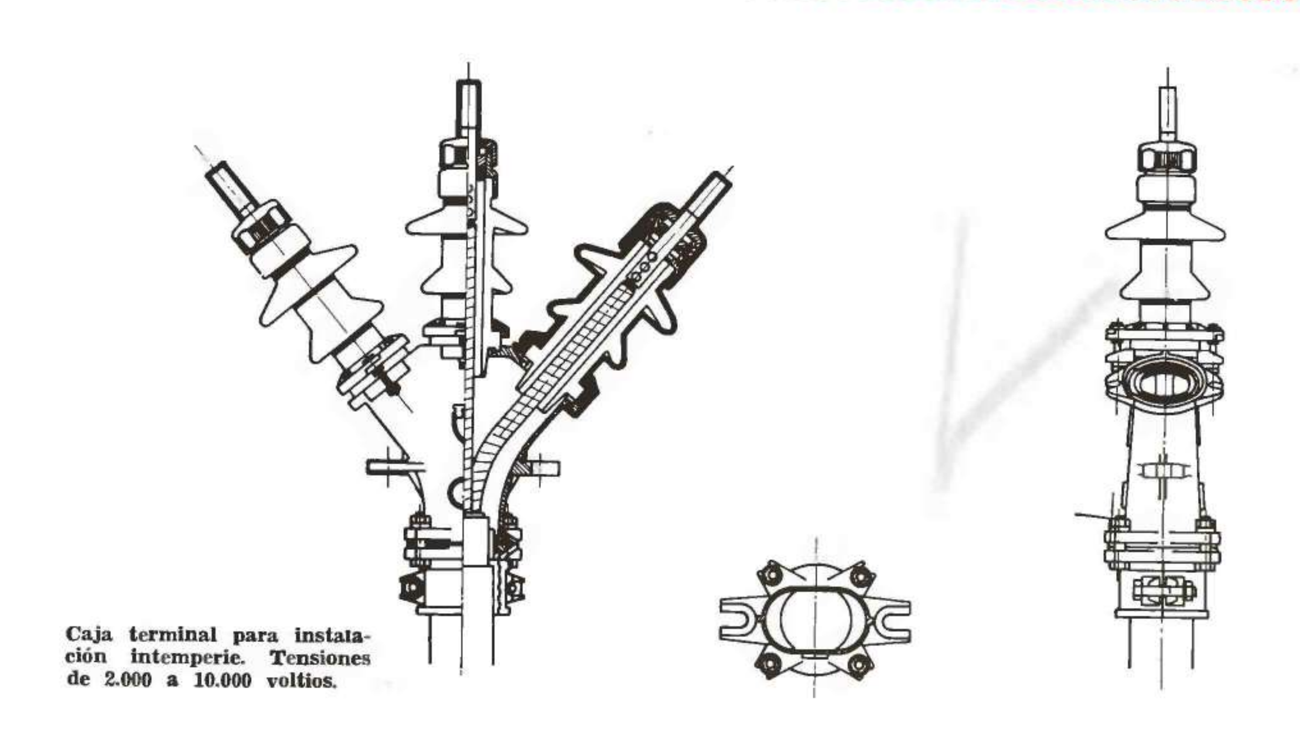
2 Caja terminal para cables trifásicos, hasta 1.000 voltios. Instalación intemperie.

3 Caja terminal trifásica, para tensiones de hasta 1.000 voltios, instalación interior, sin aisladores, con bornes en la tapa aislante.

Si observa con atención las cajas terminales de las figuras anteriores, verá que su aislamiento es muy débil, o tienen bornes en la tapa aislante, o aisladores de paso, de cuyo interior emergen los cables. En las cajas terminales de alta tensión no pueden utilizarse estos sistemas. La caja debe ser hermética por completo; en su interior el cable está soldado a las varillas terminales montadas dentro de los aisladores. A continuación reproducimos dos cajas terminales para tensiones de 2000 a 10000 voltios en su doble versión: instalación interior e intemperie.

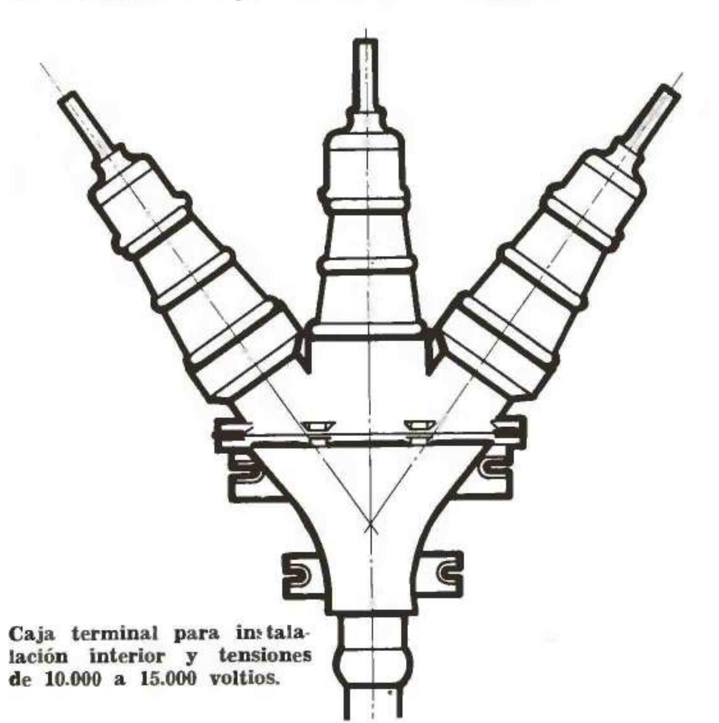


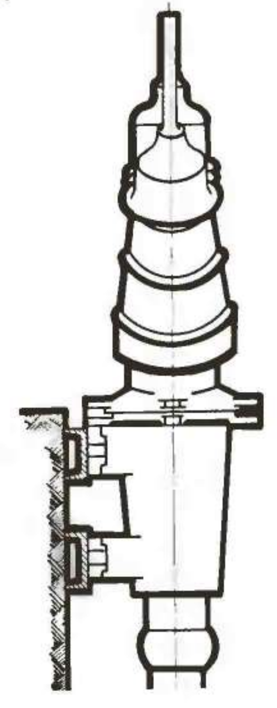
Caja terminal para instalación interior y tensiones de 2.000 a 10.000 voltios.



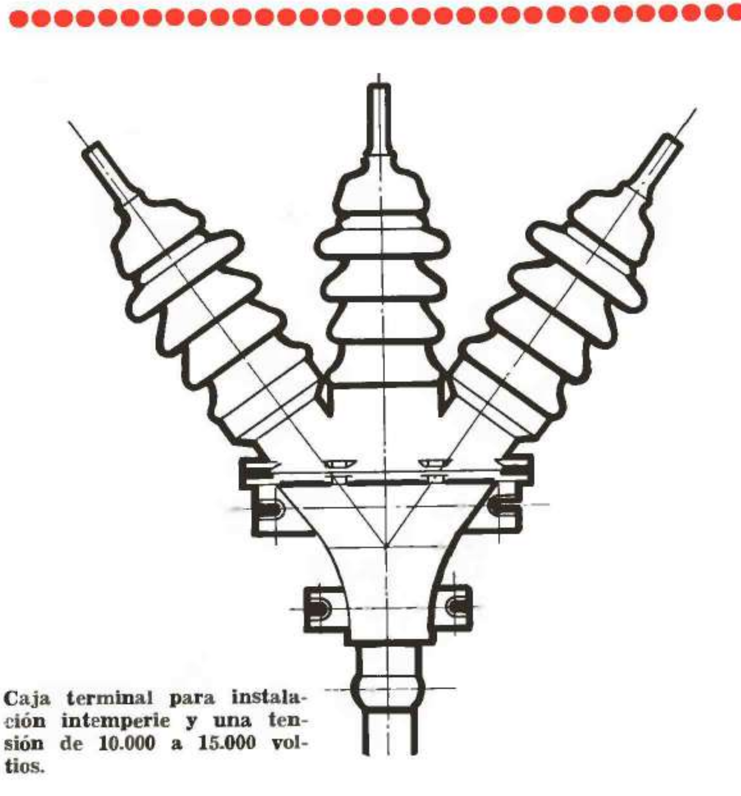
Caja terminal para instalación intemperie. Tensiones de 2.000 a 10.000 voltios.

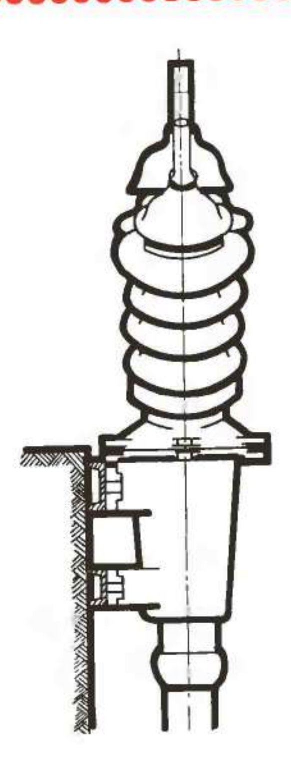
Los gráficos que siguen corresponden a dos cajas terminales para tensiones de 10000 a 15000 voltios. En ellas observamos el mayor tamaño de los aisladores (mayor número de campanas en cada uno) y las caperuzas terminales cementadas a los aisladores (en vez de utilizar prensaestopas, como en los aisladores destinados a soportar una menor tensión).





Caja terminal para instalación interior y tensiones de 10.000 a 15.000 voltios.





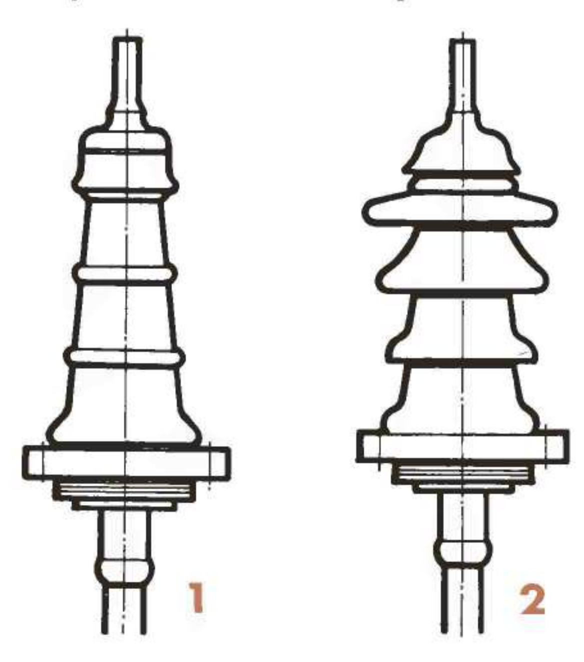
Caja terminal para instalación intemperie y una tensión de 10.000 a 15.000 voltios.

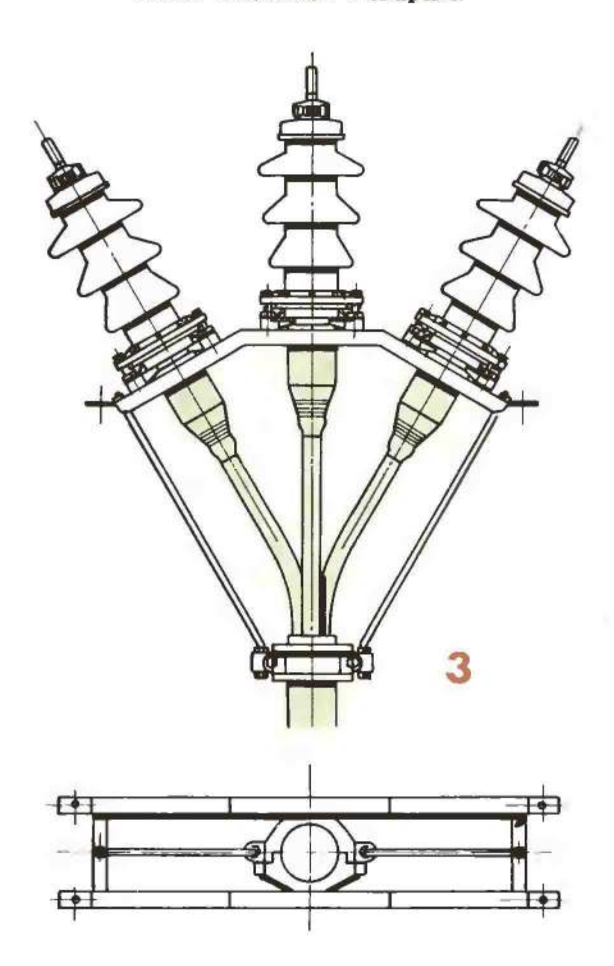
Para cables unipolares de baja tensión, así como para los cables de 20000 a 35000 voltios (cables triplomo), se utilizan cajas unipolares. Para las bifurcaciones de los cables de tres plomos se utilizan además las trifurcaciones. Se trata de un soporte para sujetar las tres cajas unipolares y la cubierta del cable. Vea en la figura el aspecto de cajas terminales de estos tipos.

1 **Caja terminal unipolar para tensiones de 20.000 a 35.000 V. Instalación interior.**

2 **Caja terminal para cables de 20.000 a 35.000 voltios. Instalación intemperie.**

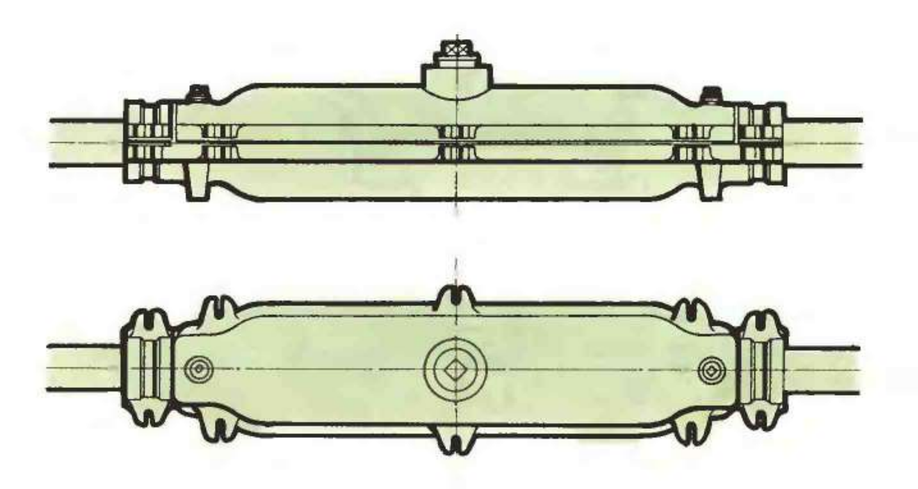
3 **Cajas terminales unipolares, montadas en un soporte de tres derivaciones para un cable de tres plomos. Tensión de servicio 25.000 voltios. Instalación intemperie.**



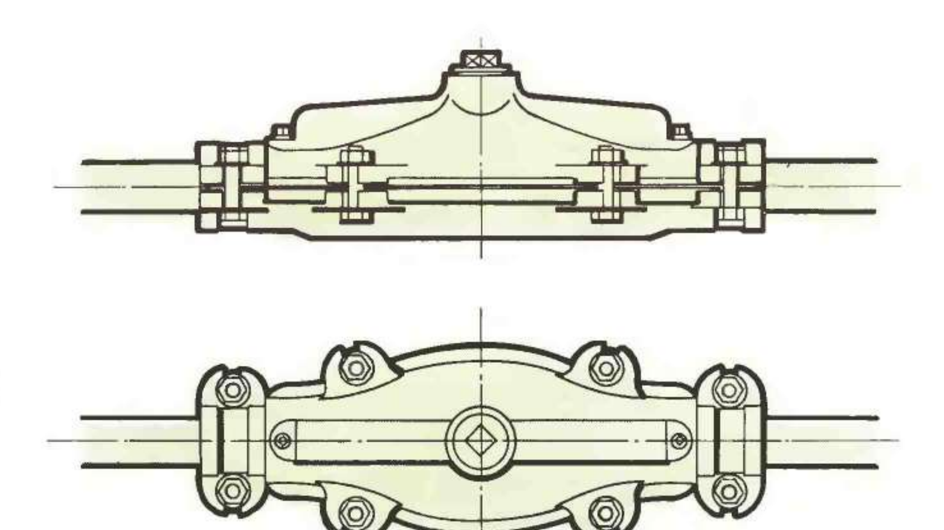


Cajas de empalme

Las cajas de empalme se utilizan cuando en el tendido de un cable es preciso realizar una unión o empalme. Lo mismo que las cajas terminales, se fabrican de distintos tipos según la tensión del cable. Por lo general sólo se emplean para tensiones de servicio de hasta 15.000 voltios; si las tensiones son más elevadas se procura no efectuar ningun empalme. Se construyen de fundición de hierro.



Caja de empalme para tensiones de hasta 1.000 V.



Caja de empalme para tensiones de 2.000 a 15.000 voltios.

Para los empalmes de los cables de baja tensión y cables sin armadura exterior se utilizan, a menudo, manguitos de plomo en vez de cajas de empalmes.

Cajas de derivación

Las cajas de derivación, construidas también de fundición de hierro, se utilizan para efectuar derivaciones en líneas subterráneas. Se fabrican en dos tipos: para derivación en T y para derivación en cruz. Solamente se emplean para tensiones inferiores a 15000 voltios. EN LÍNEAS SUBTERRÁNEAS DE MAYOR TENSIÓN NO SE EFECTÚAN NUNCA DERIVACIONES DIRECTAMENTE EN LOS CABLES. En la figura reproducimos dos tipos de cajas de derivación.

1 **Caja de derivación en T para cables con aislamiento de papel. Tensión de trabajo, de 2.000 a 15.0000 voltios.**

2 **Caja de derivación en cruz. Tensión de servicio de 2.000 a 15.000 V.**

Terminales

Los terminales son piezas que se fijan al extremo del conductor del cable, para conectarlo al aparato o pletina que debe alimentar la línea. Se fabrican distintos tipos de terminales, entre los cuales hemos escogido los más corrientes para algunos ejemplos gráficos. Véalos, por favor:



Terminal de presión. El cable se une al terminal mediante tornillos de presión.

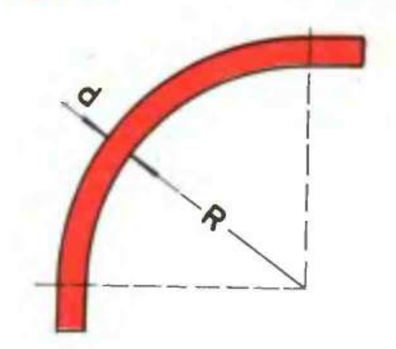
Terminales soldados. Se construyen en bronce, cobre o latón.

Además de estos tipos de terminales, que podemos considerar normales, existen otros tipos más modernos que se encuentran en el mercado respondiendo a distintos nombres de marca. Se trata de terminales que requieren herramientas especiales para su montaje. Describimos y representamos el terminal tipo LOTEX. Este terminal se fabrica en aluminio o cóbre; se utiliza uno u otro metal según sea el material del conductor: aluminio si es de aluminio y cobre si es de cobre. El terminal consiste en una cápsula que se introduce en el extremo del conductor, una vez se le ha despojado de su aislamiento; luego, por medio de un utilaje especial, se aplana la cápsula y se taladra. La figura muestra el montaje de un terminal de este tipo.

Distintas formas en que puede moldearse un terminal.

TENDIDO DE CABLES CON AISLAMIENTO DE PAPEL

El rendimiento de una red de cables depende de su buena colocación y del montaje correcto de las cajas terminales y demás accesorios. Una suma de pequeños defectos puede anular un buen servicio.



Para cables de baja tensión R = 12 d.
Para cables de alta tensión R = 15 d.

COLOCACION EN ZANJAS

Los cables se alojan directamente en el terreno, *a una profundidad mínima de 70 cm.* El fondo de la zanja debe ser lo más liso posible.

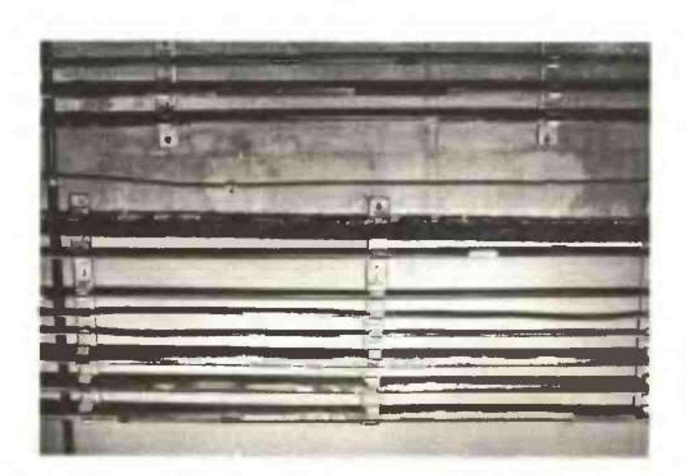
Los cables salen de fábrica bobinados en grandes carretes de madera, de los que se desenrollan a medida de las necesidades que se presentan en el tendido. Para facilitar la operación, el eje del carrete se apoya en unos caballetes que le permiten girar. Dado el gran tamaño de estas bobinas, en la mayoría de los casos es necesario disponer de un freno para evitar que el cable se desenrolle por sí solo, en vez de hacerlo a medida que el personal de tendido lo solicita. Durante el tendido se evitará que el cable sufra dobleces o flexiones que puedan dañarlo.

El radio mínimo de curvatura a que puede someterse un cable es de 12 a 15 veces su diámetro. El cable se coloca, siempre que sea posible, sobre un lecho de arena, extendida en la zanja, para evitar que roce con cantos o piedras. Una vez tendido del cable, se recubre con una capa de ladrillo para protegerlo de los golpes de pico. Sobre los ladrillos se echa la tierra de relleno, que se apisonará lo mejor que se pueda. Al colocar varios cables en una misma zanja debe tenerse en cuenta el aumento de temperatura que se produce; y en consecuencia debe reducirse la carga.

Cuando no sea posible realizar inmediatamente los empalmes, los extremos de los cables deben protegerse con una tapa de plomo soldada a la cubierta de plomo del cable.

INSTALACION EN EDIFICIOS

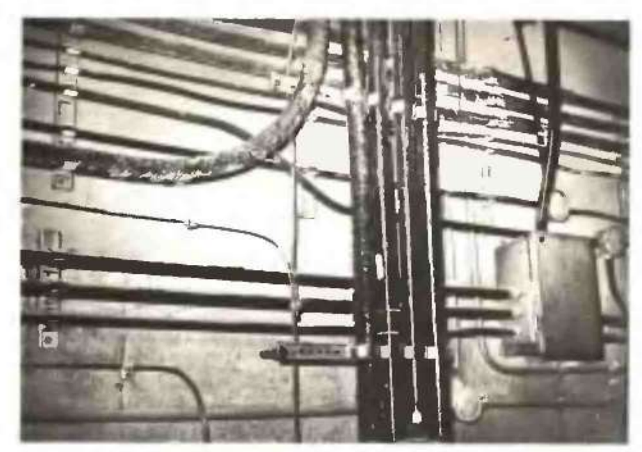
En los edificios, los cables deben montarse de forma que queden protegidos contra golpes o ataques químicos. Para su colocación en paredes o techos se utilizan distintos tipos de bridas o grapas soporte. En las fotografías mostramos el montaje de varios cables en galería de servicios, por ser ésta la solución más racional y empleada. Es la solución más cara, pero la inversión inicial se compensa por la gran ventaja que representa tener el tendido a la vista. Las funciones de mantenimiento y reparación se simplifican de modo extraordinario.



Montaje de varios cables, en galería de servicios.

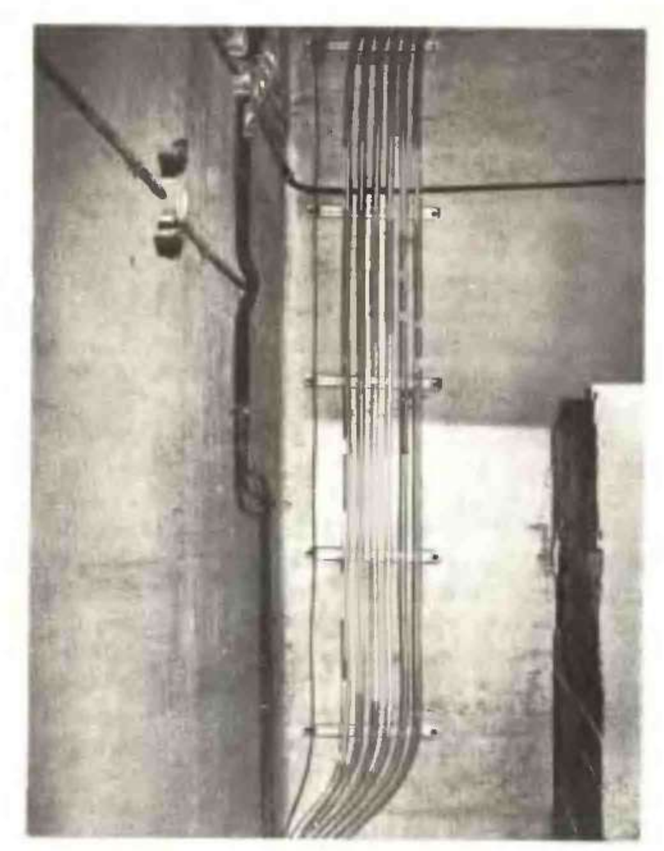


Montaje de dos cables con aislamiento termoplástico de 3 × 350 mm², montados sobre soportes reforzados.



Montaje de cables con aislamiento ue papel y cables con aislamiento termoplástico, sobre vías y grapas.





Montaje de 6 cables unipolares con aislamiento termoplástico, montados en soportes formados por vías y grapas.

INSTRUCCIONES PARA EL MONTAJE DE LOS ACCESORIOS

Generalidades

Precauciones para asegurar el perfecto aislamiento de los cables.

El aislamiento del cable no debe quedar expuesto a una posible entrada de humedad más tiempo que el indispensable para montar el accesorio de que se trate. Para ello, los extremos de los cables deben llevar un tapón de plomo soldado que evite la entrada de humedad durante el transporte y almacenamiento. En el caso de que al comenzar el trabajo se observara que el tapón de plomo no está debidamente soldado, deberá eliminarse, por lo menos, un trozo de un metro y verificar el resto con un medidor de aislamiento.

Las cajas y materiales que intervienen en el montaje de un accesorio deben estar completamente secos y limpios. En caso de duda deberán lavarse con pasta Pirelli R-40, en caliente. No se comenzará el trabajo a no ser que se pueda realizar de forma ininterrumpida.

Montaje de las cajas terminales para baja tensión

Si la caja es de boquilla, quitarla y ajustarla al diámetro de la cubierta de plomo del cable.

Desmontar los aisladores de paso que van montados en la tapa.

Colocar provisionalmente la caja terminal en el punto y la posición de su emplazamiento definitivo. Presentar el cable en la posición más próxima a la definitiva, dejando suficiente longitud para efectuar las conexiones.

Marcar un punto A en el cable, 50 mm debajo del extremo inferior de la caja terminal.

Medir la longitud total de la caja y, a partir del punto A, marcar en el cable un punto B. La distancia A B = longitud total de la caja + 120 mm. Cortar el cable por este punto B.

Eliminar la protección textil, armadura y demás recubrimientos entre los puntos A y B, dejando al descubierto la cubierta del plomo. Limpiar el plomo con un trapo impregnado con benzol o gasolina.

Zunchar con varias vueltas de alambre los extremos donde terminan las protecciones del plomo, cuando se trata de cables armados.

Entre los puntos A y B, y a partir de A, marcar un punto C, a una distancia igual a la altura de la boquilla más 50 mm.

Introducir la boquilla, o abrazadera, en el cable.

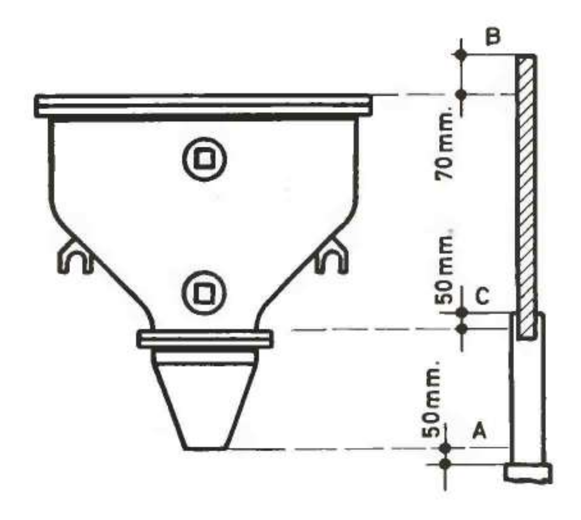
Con una cuchilla bien afilada, y sin perjudicar el aislamiento del cable, quitar entre los puntos B y C la cubierta de plomo y el aislamiento general que envuelve las tres venas aisladas del cable.

Entonces se introduce el cable en la caja terminal, abriendo los cables en abanico, y se coloca la tapa en su sitio de modo que pasen las venas del cable por los orificios de aquélla, una vez eliminado el aislamiento necesario de los conductores. Se sueldan los terminales a los extremos de los conductores, tomando la precaución de proteger el aislamiento de papel con una cinta resistente al fuego, que se quita una vez realizada la soldadura. Los conductores aislados se encintan con una tela impregnada (cinta Sterling) desde el borde superior de la tapa hasta el terminal del cable, y después se da una capa de laca o barniz para protegerlo de la humedad.

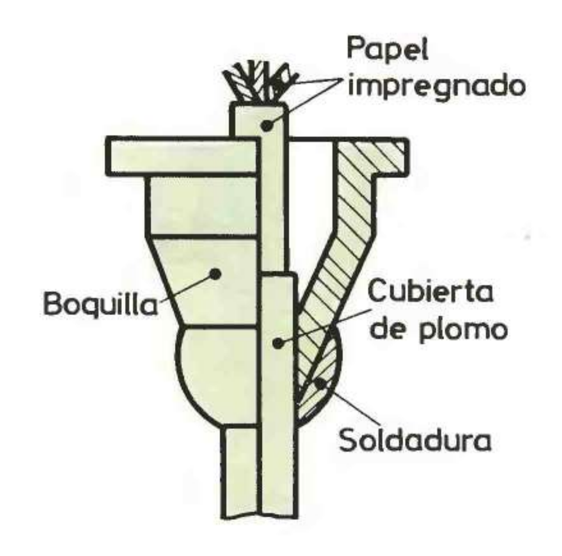
Seguidamente se procede al corte de la cubierta de plomo del cable unos 50 mm por debajo del punto C, abocardando la cubierta con una cuña de madera.

La caja se monta colocando las juntas y los pasatapas (si los hubiera) en su lugar oportuno. Los tornillos deben apretarse con firmeza. Si la caja fuese de cuello en vez de ser de boquilla, se ajustará la cubierta del cable al cuello de la caja con cinta aislante, para evitar pérdidas de la pasta aislante con que luego hay que rellenar la caja.

La cubierta de plomo del cable debe soldarse a la boquilla, si la caja es de este tipo. La operación se hace con una lámpara de gasolina y con estaño al 35 %, dando a la soldadura la forma que indica la figura; para ello se utiliza un guante de algodón impregnado de estearina o sebo.



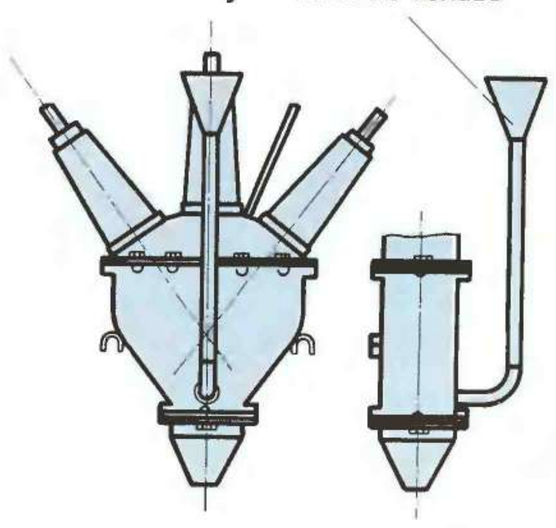




Seguidamente se procede al llenado de la caja terminal con una pasta aislante, previamente calentada a la temperatura de vertido que indica el fabricante. La pasta Pirelli R-80, por ejemplo, es adecuada para cajas terminales de cables con tensiones no superiores a los 15000 voltios.

La pasta debe vertirse despacio y a la temperatura correcta, la que se controla con un termómetro. En tiempo frío debe calentarse ligeramente la caja.

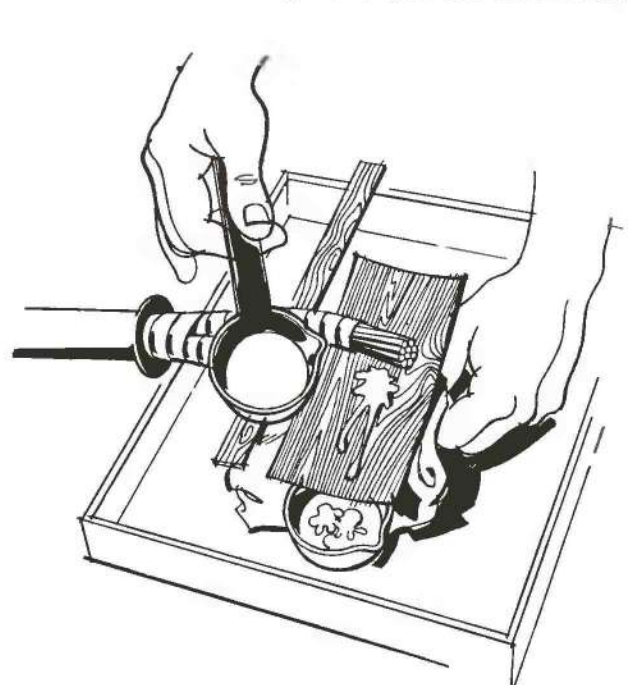
El llenado de la caja con pasta debe continuar hasta que rebose un poco por los pasatapas o extremos de los aisladores. En la figura reproducimos un dispositivo de llenado utilizado para cajas grandes.

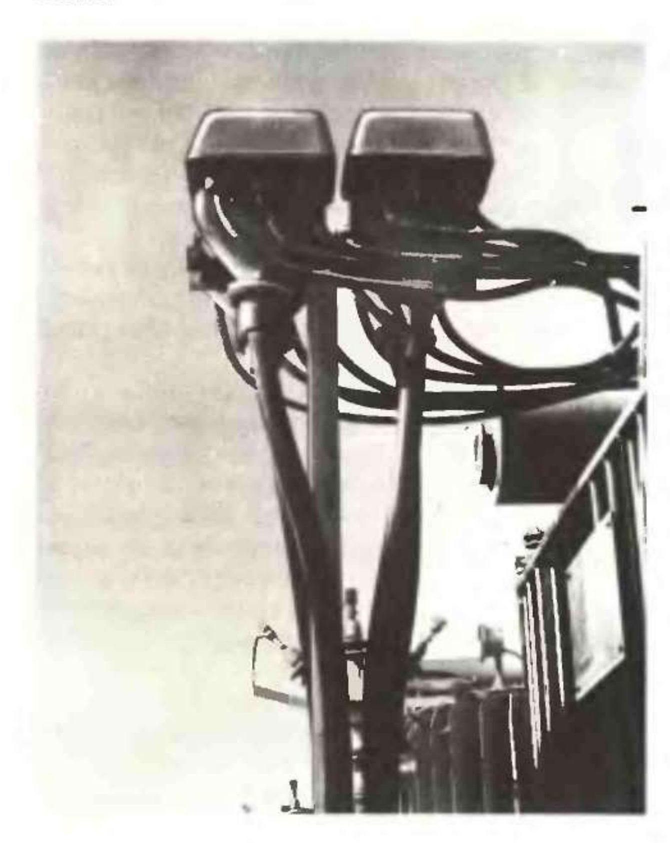


Para la soldadura de terminales manguitos en cables de papel no es aconsejable el uso de sistemas que actúen directamente con llama, por el peligro que representa para los aislantes, que de por sí son bastante inflamables. A ser posible se utiliza el sistema del cazo, que describimos ahora mismo.

Para lograr una perfecta soldadura, se procederá como sigue:

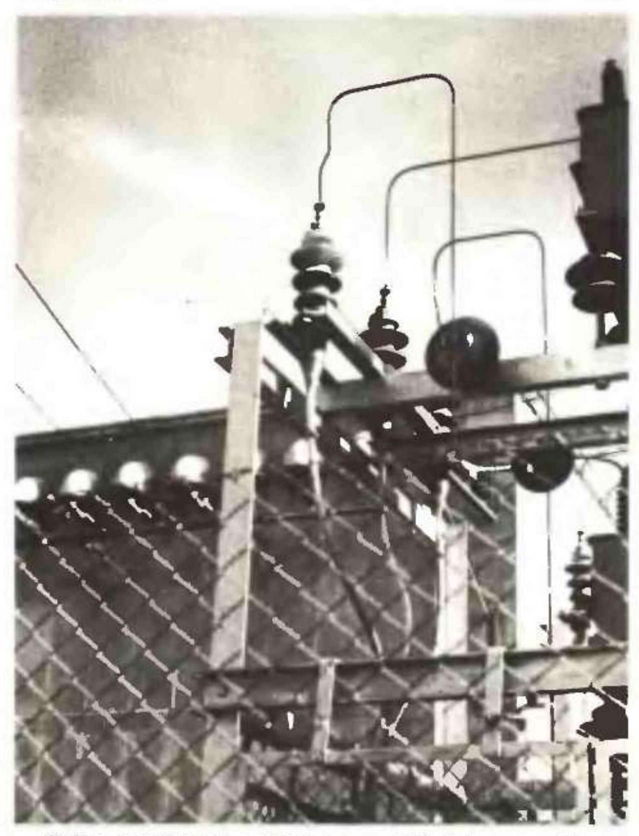
Se funden de 5 a 6 kg de estaño (40 a 50 %) en un pote de hierro, y una vez fundido se vierte sobre el conductor que se quiere estañar. Previamente se protege el aislante con varias capas de cinta aceitada. A medida que el conductor se va calentando el estaño penetra por los intersticios que dejan los hilos del cable. Tan pronto como el estaño fluido se deposite sobre el cable, se pasará por encima un trozo de colofonia para que penetre completamente por entre los hilos del cable. Seguidamente, y con el estaño aun fluido, se pasa por la superficie un trapo seco para dejarla limpia y sin rebabas. Sin perder tiempo se coloca el terminal, manguito, etc., que quiera soldarse, y se continua la operación hasta que ambas piezas queden bien unidas por la masa de estaño.





Cajas terminales tipo intemperie para cables a baja tensión 220 voltios.

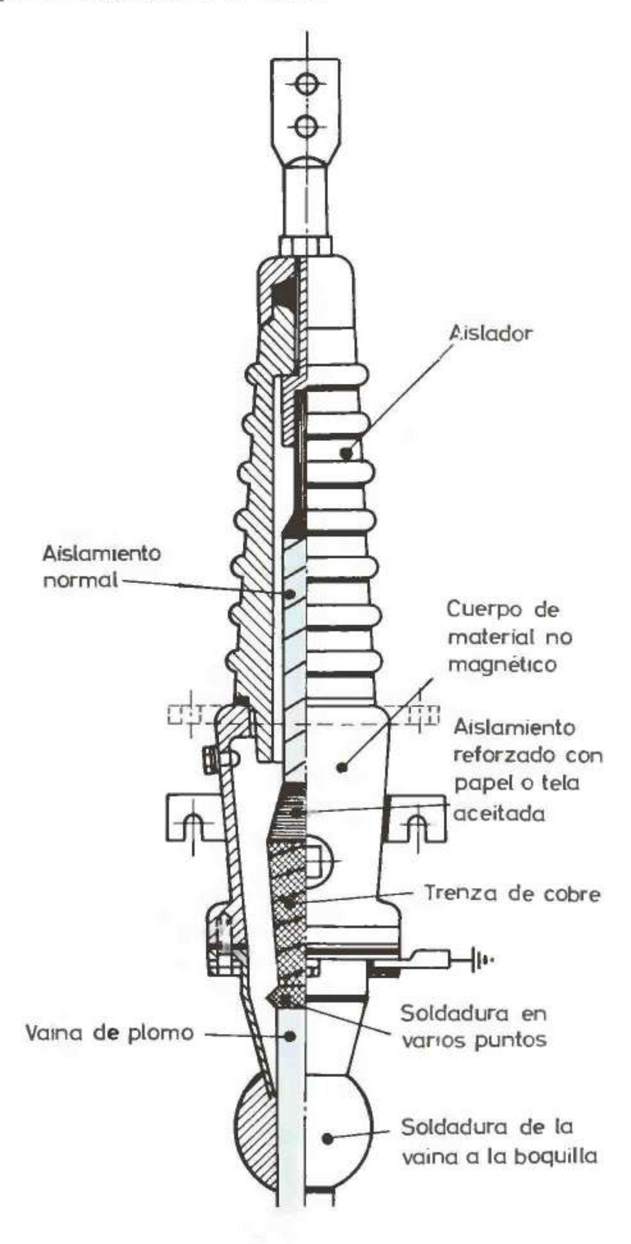
Caja terminal tipo intemperie para cables a 3.000 voltios.



Cajas terminales unipolares, montadas en cable 3 plomos a 25.000 voltios. Instalación exterior.

MONTAJE DE LAS CAJAS TERMINALES DE ALTA TENSION

Para el montaje de las cajas terminales de alta tensión se procede de forma análoga a la descrita para las cajas de baja tensión, con la diferencia de que se llenan de una pasta adecuada a la tensión de trabajo del cable. Si se desea que el terminal pueda soportar tensiones de perforación próximas a las del cable deberá reconstruirse el aislamiento, para lo que se emplearán cintas de papel impregnado de la misma calidad que la utilizada en el cable.



Caja terminal unipolar usada también para cable triplomo, para instalaciones interiores. Tensión de servicio, hasta 35.000 voltios.

Resulta evidente que los espesores de papel que se aplican a mano son superiores a los propios del cable, debido a que el aislamiento original se hace en vacío y con una presión adecuada de las capas de papel, cosa que no puede lograrse por más esmero que se ponga en la operación manual.

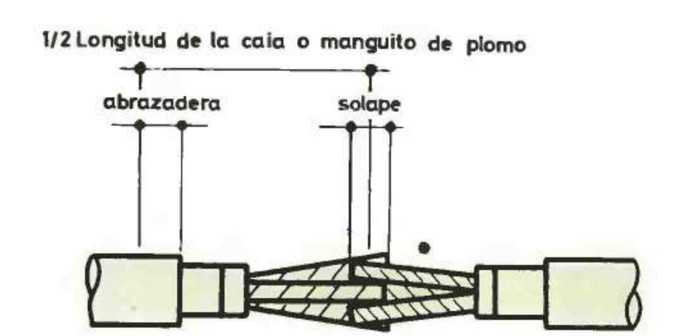
Las cintas de papel impregnado se encierran en recipientes herméticos para evitar que absorban humedad del ambiente. Como el punto donde acaba la cubierta de plomo es el más débil del terminal, puede conseguirse un refuerzo mediante cinta de tela o papel enrollado por encima de esta parte crítica.

MONTAJE DE LAS CAJAS DE EMPALME

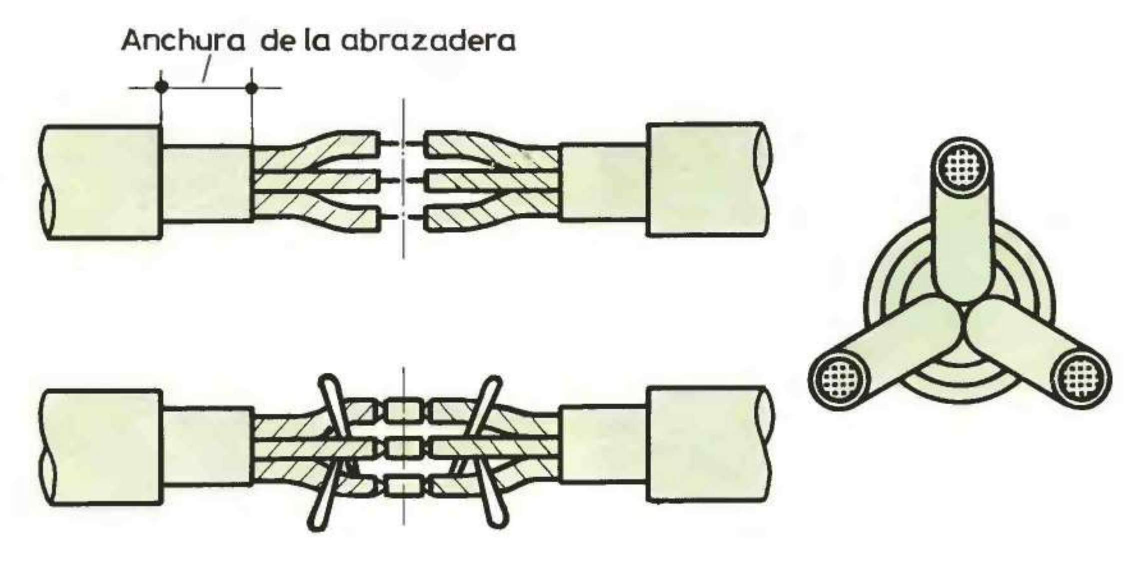
Las cajas de empalme y derivación están diseñadas de modo que rindan servicio satisfactorio si se tienen en cuenta ciertas precauciones durante el montaje.

Los cables a unir deben de cortarse de forma que se solapen unos 60 mm.

Sobre cada uno de los extremos de los cables se marca una distancia igual a la mitad de la longitud de la caja que se va a emplear. A continuación se marca otro punto, a partir del primero y en dirección al extremo del cable, igual a la anchura de la abrazadera de la caja. A partir de este último punto se despoja al cable de protección exterior y se deja bien limpio el tubo de plomo. Si el empalme es de alta tensión o se desea conseguir un cierre hermético, se introduce uno de los cables en un manguito de plomo.



Los cables deben solaparse unos 60 mm.



Con los extremos de los cables al descubierto y sin relleno de papel, se disponen los conductores tal como aparecen en las figuras, de manera que una parte del conductor quede totalmente recta.

Una vez preparados los dos cables, se quita el aislamiento preciso para la colocación del manguito de unión en cada fase del cable. El aislamiento se deja en forma cónica, como se indica en la figura.



Los aislamientos de cada fase se dejan en forma cónica.

Mediante una cuña de madera se abocarda la funda de plomo.

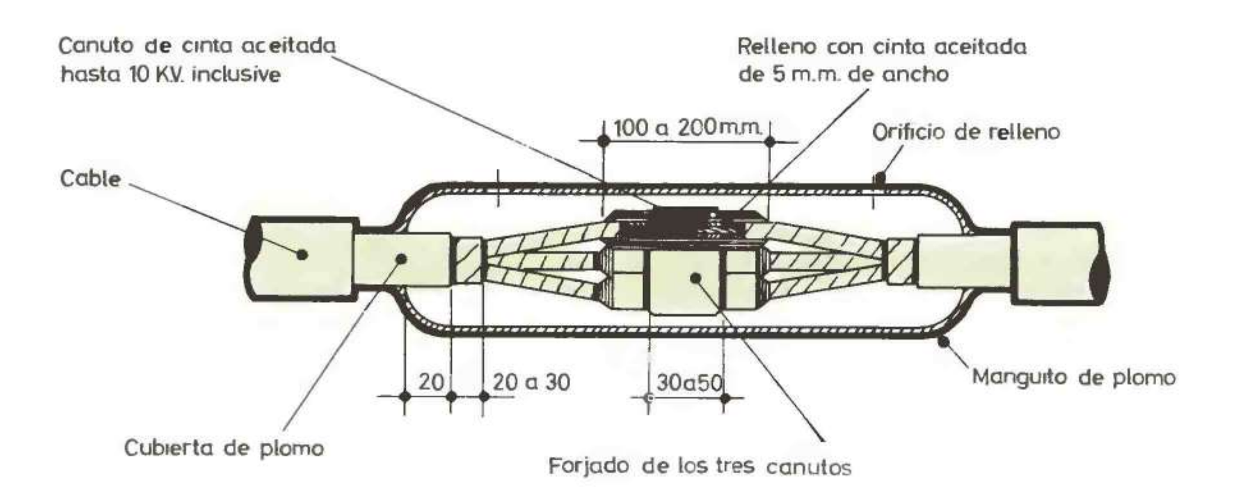
Seguidamente se procede a la soldadura de los manguitos, utilizando el sistema del cazo ya descrito.

Si el empalme es de alta tensión, se lavará el conjunto con pasta R-40 caliente, durante diez o quince minutos, valiéndose de un cazo de medio litro y de un recipiente que contenga por lo menos cinco litros de pasta.

Se enrolla sobre cada conductor una capa de aislamiento de espesor adecuado a la tensión de trabajo del cable. Para tensiones inferiores a 10000 voltios puede emplearse tela aceitada. Para tensiones más elevadas únicamente se utilizará cintas de papel impregnado similar al utilizado en el aislamiento del cable. Los canutos de papel así formados deben quedar colocados uniformemente y bien apretados alrededor de cada fase, evitando arrugas y espacios vacíos que puedan facilitar la formación de bolsas.

El conjunto de los tres canutos se cubre con tela o cinta de ancho adecuado a la tensión de trabajo del cable, y a continuación se lava de nuevo el empalme con pasta R-40. Se coloca el manguito de plomo sobre el empalme y se adaptan sus extremos golpeando con una maza de madera. Acto seguido, con lámpara de gasolina, se suelda el manguito de plomo a la cubierta del cable.

Valiéndose de los dos orificios de que está provisto el manguito de plomo, se rellena con pasta aislante caliente adecuada a la tensión de servicio del cable, cuidando que no se formen bolsas de aire. Como la pasta se contrae al enfriarse es preciso añadir pasta caliente, a medida que se enfría. Transcurrida una hora, se da por terminado el relleno, dejando que la pasta se enfrie, y se tapan los agujeros de relleno. Si el cable va enterrado en zanja, se procede a la colocación de una caja de fundición para proteger el manguito contra los agentes exteriores.



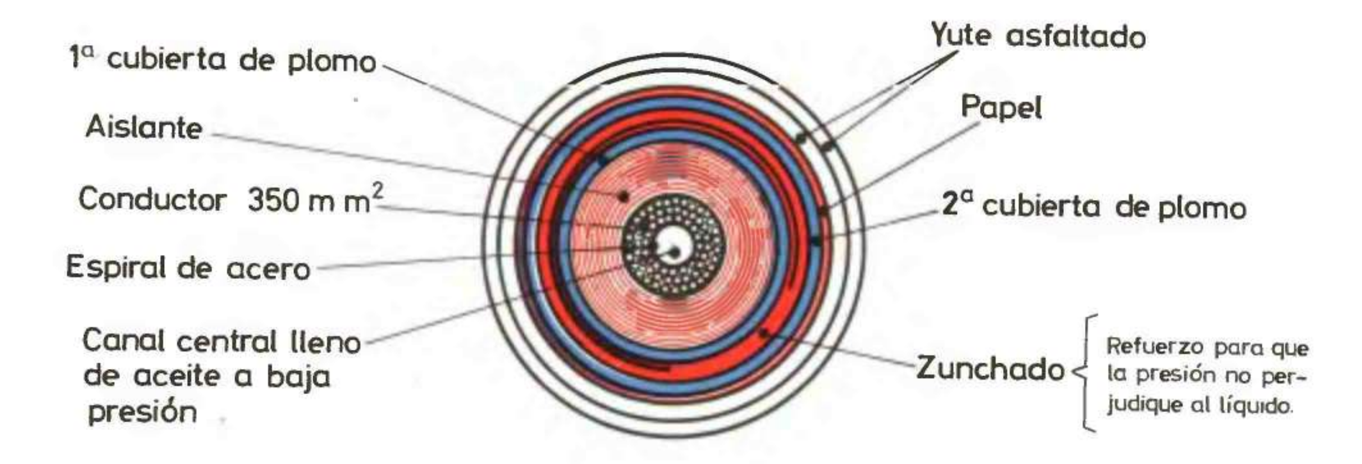
CABLES PARA MUY ALTA TENSION

A fin de evitar la ionización de los cables aislados con papel impregnado, para tensiones muy altas se utilizan cables con aceite fluido a presión, y cables con gas a presión.

CABLES CON ACEITE A PRESION

Tomamos como prototipo el cable Pirelli.

Estos cables, puestos a punto por la firma Pirelli, llevan un canal central por medio del cual se mantiene lleno de aceite el espacio disponible interior al conductor. El aceite se mantiene a una presión, como mínimo, igual a la presión atmosférica en el punto más alto de la canalización. Unos depósitos de aceite a presión, constituidos por un conjunto de células metálicas de paredes flexibles que forman colchones elásticos, alimentan el canal del cable a lo largo de su recorrido. Estos depósitos absorben el aceite en los momen-



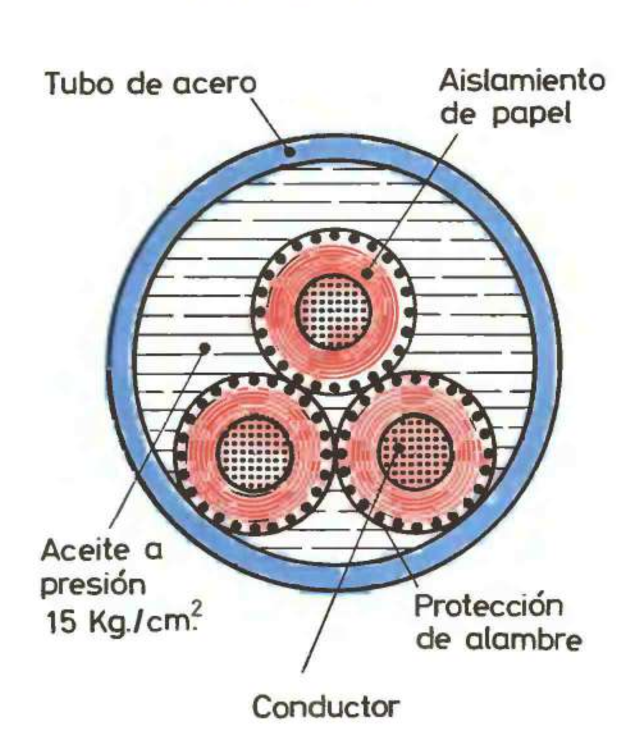
Cable aceite fluido 1 × 350 mm², 220.000 voltios, baja presión.

tos de calentamiento y lo devuelven durante el enfriamiento, de forma que el estado de impregnación no experimenta modificación alguna durante la explotación del cable. La figura representa la sección de un cable de este tipo (unipolar) con conductor hueco.

Este tipo de cable se instaló en Francia en 1936 para trabajar a una tensión de 220000 voltios.

Al llenar el sistema de aceite, es preciso tener especial cuidado en secar y desgasificar por completo el líquido.

Otro tipo de cable con aceite a presión es el Oilostatic, formado por cables con aislamiento de papel impregnado que se colocan dentro de un tubo de acero, directamente enterrado en el suelo. Al colocar el cable dentro del tubo se le retira una protección provisional de plomo. Cuando el cable está instalado, se hace el vacío en el sistema de tuberías. Seguidamente se llena con aceite seco a una presión de 15 kg/cm². Para mantener esta presión y las reservas de aceite es preciso un equipo especial. Este tipo de cable se ha desarrollado en América del Norte. En la figura reproducimos la sección de un cable de este tipo.



Cable Oilostatic a 138.000 voltios.

CABLES CON GAS A PRESION

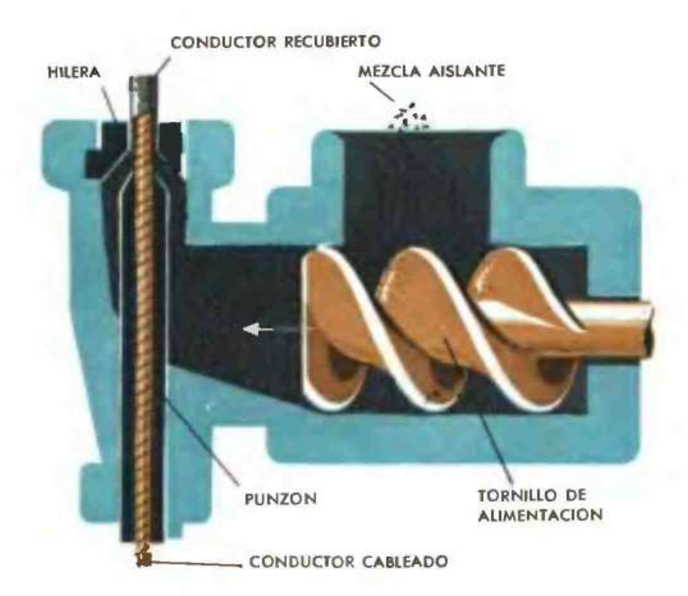
En los cables con gas a presión se utiliza generalmente el hidrógeno, a una presión de 14 kg/cm². El gas, en el interior de un tubo de acero o de una cubierta de plomo reforzado, comprime directamente el aislamiento del cable a través de una fina cubierta de plomo o polietileno.

En los llamados *cables de presión interna*, el hidrógeno a presión se introduce en el aislante. La transmisión del gas a presión a lo largo de la canalización se realiza a través de bocas de plomo, que desembocan en las cajas de empalme. Este sistema es poco empleado, porque hasta el momento presente no se ha encontrado un sistema suficientemente rápido para localizar las fugas de gas que aparecen fatalmente en puntos determinados.

CABLES AISLADOS CON CAUCHO Y MATERIALES SINTETICOS

Los cables con aislamiento de goma por lo general se utilizan para las instalaciones interiores de baja tensión: cableado de talleres y fábricas, de máquinas y cuadros, uniones deformables y conexiones elásticas. Actualmente, para evitar la falta de resistencia del caucho a los agentes químicos y grasas, se utilizan gomas sintéticas y materias plásticas elásticas. Éstas tienen, además, la ventaja de ser menos combustibles que la goma natural.

Se utilizan idénticos conductores cableados que para la fabricación de los cables aislados con papel impregnado; pero los hilos de cobre aislados con caucho vulcanizado se estañan para proteger al cobre de los ataques del azufre durante la vulcanización.



Aislamiento

... conductores se aíslan por uno de los métodos siguientes:

Enrollando tiras de caucho en hélice, igual que como se enrollan tiras de papel en cable aislado con papel impregnado, y por recubrimiento continuo sin soldadura. En este último procedimiento, el más utilizado actualmente, se emplean máquinas constituidas en esencia por un tornillo sin fin que gira con muy poco juego en el interior de una cámara a la que llega una pasta formada por la mezcla aislante. El tornillo empuja la mezcla aislante hacia una cabeza provista de un orificio anular, guiándola entre un punzón y una hilera.

El conductor a aislar, arrastrado por un cabrestante, pasa a través del punzón hueco y sale recubierto por una capa aislante al atravesar la hilera. Estas máquinas están provistas de dispositivos de calentamiento de la mezcla y de centrado del cable. Una vez recubiertos de la capa de aislante, los cables aislados con caucho se someten a un proceso de vulcanización.

CONSTITUCION DE LOS CABLES ELABORADOS CON MATERIAS TERMOPLASTICAS

Generalidades

La extraordinaria difusión alcanzada por los cables con aislamiento de mezclas de cloruro de polivinilo, en el campo de la distribución en baja tensión en instalaciones corrientes e industriales, se halla plenamente justificada por las excelentes cualidades de dichas mezclas.

Sin embargo, cuando se trata de extender el empleo de estos cables al transporte de energía a baja y media tensión, es preciso obrar con extremada cautela para su aceptación. Incluso será oportuno rechazarlos si no puede contarse con una garantía absoluta de su comportamiento en servicio.

Frente a la excepcional rigidez dieléctrica, característica de las mezclas de cloruro de polivinilo, se halla su termoplasticidad (reblandecimiento por calor); lo que, si bien por una parte facilita la fabricación de los cables, representa un grave inconveniente, al no permitir temperaturas de trabajo superiores a 70° C, excesivamente bajas para su aplicación en el campo del transporte de energía en comparación con las temperaturas permitidas por otros aislantes.

Se han puesto a punto mezclas especiales de materiales termoplásticos que, además de soportar temperaturas de trabajo más elevadas, son menos susceptibles a la deformación por razones térmicas, incluso en el caso de sobrecargas. En consecuencia, el peligro de inestabilidad térmica queda muy reducido.

Aislante

Se utilizan mezclas de cloruro de polivinilo, aracterizadas por un grado de termoplasticidad que les permite funcionar en servicio permanente con temperaturas en el cobre de 80° C y con un margen de seguridad plenamente satisfactorio.

Eléctricamente, estas mezlas se distinguen por un elevado valor de la resistencia de aislamiento, parecido al alcanzado por los aislamientos clásicos.

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS DE LOS CABLES BAJO PLASTICO

Los cables con aislamientos termoplásticos tienen características diferentes según la misión para la que han sido proyectados.

NO APANTALLADOS

CABLES DE UN CONDUCTOR

Un conductor de sección circular de cobre recocido.

Envoltura aislante de material termoplástico.

Cubierta de material termoplástico resistente a los agentes externos.

CABLES DE DOS O MÁS CONDUCTORES

Conductores de sección circular de cobre recocido.

Sobre cada conductor, envoltura aislante de material termoplástico.

Los conjuntos aislados se cablean entre sí.

Cubierta de material termoplástico resistente a los agentes externos.

APANTALLADOS

Tienen las mismas características que los no apantallados; además, entre el aislamiento y la cubierta protectora se intercalan pantallas formadas por pletina de cobre desnudo arrolladas en hélice. A continuación reproducimos distintos tipos de cables con aislamiento termoplástico.



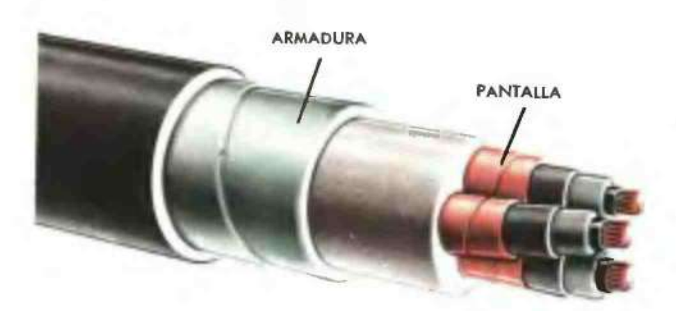
Cable de un conductor no apantallado.



Cable de cuatro conductores, no apantallado.



Cable de tres conductores, apantallado. Aislamiento termoplástico.



Cable de tres conductores, apantallado con armadura de cintas de hierro. Aislamiento termoplástico.



Cable aislado con cloruro de polivinilo de cuatro conductores, con armadura de hilos.

ELECCION DEL CABLE DESDE EL PUNTO DE VISTA ELECTRICO

Para la elección del cable, es preciso determinar la tensión de servicio, la carga a transportar y la sección del conductor. Para determinar la sección del conductor en función de la carga pueden tomarse los valores de la tabla siguiente, dados en amperios por conductor.

Sección nominal de los cond. mm²	INSTALACION AL AIRE LIBRE			INSTALACION DIRECTAMENTE ENTERRADA		
	Cable de			Cable de		
	1 cond.	2 conds.	3 conds.	1 cond.	2 conds.	3 conds.
1	19	17	16	42	32	22
1,6	24	21	19	52	41	30
2,5	32	28	25	67	53	40
4	43	35	31	81	65	49
6,3	55	47	40	106	83	60
10	73	62	52	132	104	76
16	94	81	69	175	136	96
25	125	107	90	227	175	122
40	170	147	125	298	229	160
50	200	172	145	340	263	185
63	229	197	165	382	295	208
80	264	227	190	435	335	235
100	303	259	215	490	379	269
125	346	295	245	550	427	305
160	405	342	280	630	490	350
200	467	392	319	700	550	398
250	538	449	360	790	617	445
315	623	516	410	910	705	500
400	733	—	—	1000	—	—
500	850	—	—	1150	—	—
630	1050	—	—	1250	—	—

CONSTITUCION DE LOS CABLES AISLADOS CON GOMA SINTETICA

Actualmente ha tomado gran incremento la fabricación de cables de goma butílica y neopreno. Los cables de goma butílica permiten temperaturas de trabajo, en el cobre, de 90° C; además, por su composición, soportan condiciones de trabajo más duras que los cables aislados con mezclas termoplásticas.

La goma butílica posee excelentes propiedades como aislante eléctrico, por lo que se usa con gran éxito en la fabricación de cables para baja y media tensión. Su gran resistencia al envejecimiento, muy superior a la de las gomas naturales, le permite trabajar a temperaturas de 85 a 90° C en el cobre.

Su gran resistencia a la humedad hace posible que sus cualidades eléctricas y mecánicas no se reduzcan aun permaneciendo en el agua. La goma butílica, además, es resistente al ozono y a la luz; de ahí su gran duración aun cuando no se halle protegida de los agentes atmosféricos.

El aislante se aplica sobre el conductor mediante extrusión, y a continuación se vulcaniza.

Los cables de varios conductores, una vez cableados entre sí, se rodean de cubierta exterior, según las necesidades, que puede ser de mezclas de goma sintética o de materiales termoplásticos.

Para casos especiales, se construyen cables de gomas sintéticas con armadura metálica ligera, procurando que el conjunto no pierda sus propiedades de ligereza y flexibilidad.

A continuación reproducimos varios cables de este tipo.



CONDUCTOR MACIZO



CONDUCTOR CABLEADO

Cables monofásicos con aislamiento de goma butílica y cubierta exterior de neopreno. Tensión de servicio 1.000 voltios. Sin armadura.



CONDUCTOR MACIZO



CONDUCTOR CABLEADO

Cables trifásicos con aislamiento butílico y cubierta de neopreno. Sin armadura. Tensión de servicio 1.000 voltios.



CONDUCTOR MACIZO



CONDUCTOR CABLEADO

Cables trifásicos, con aislamiento butílico y cubierta de neopreno. Con armadura. Tensión de servicio 1.000 voltios.

INTENSIDAD MAXIMA ADMISIBLE EN CABLES CON AISLAMIENTO DE GOMA BUTILICA

Damos los valores de la intensidad máxima permanente admisible para los cables con aislamiento de goma butílica.

Los valores de la tabla se han calculado partiendo de las condiciones siguientes, y son válidos para los cables armados y no armados:

INSTALACIÓN AL AIRE. Se ha calculado para temperatura del aire de 40° C. Para los tres cables instalados juntos, se supone una disposición que permita una eficaz renovación del aire.

INSTALACIÓN ENTERRADA. Para el cálculo se supone una temperatura del terreno de 25° C. Terreno de resistividad térmica normal. Cables directamente enterrados a una profundidad de 70 cm. Para los tres cables juntos se ha aplicado el correspondiente coeficiente de reducción.

Seccion nominal de los conductores mm^2	Instalación al aire			Instalación enterrada		
	Tres cables unipolares	Un cable bipolar	Un cable tripolar	Tres cables unipolares	Un cable bipolar	Un cable tripolar
1,6	23	23	20	34	35	29
2,5	31	31	25	44	46	38
4	40	40	33	58	61	50
6,3	52	52	43	76	80	65
10	68	68	55	100	105	84
16	90	90	73	130	135	110
25	120	120	96	165	170	140
40	160	160	130	215	225	185
50	185	185	150	250	260	210
63	215	215	175	285	295	240
80	250	252	205	325	337	275
100	285	290	235	365	380	310
125	325	325	265	410	425	345
160	380	385	315	470	485	395
200	440	440	360	530	545	445
250	505	500	405	595	610	500
315	580	—	—	675	—	—
400	675	—	—	765	—	—
500	780	—	—	850	—	—
630	—	—	—	—	—	—

TENDIDO DE LOS CABLES CON AISLAMIENTOS TERMOPLASTICOS Y DE GOMA SINTETICA

Para el tendido de estos cables se toman las mismas precauciones que para la instalación de los cables con aislamiento de papel, si bien su manejo no es tan delicado como el de éstos.

FINAL DE CABLES PARA INTERIORES

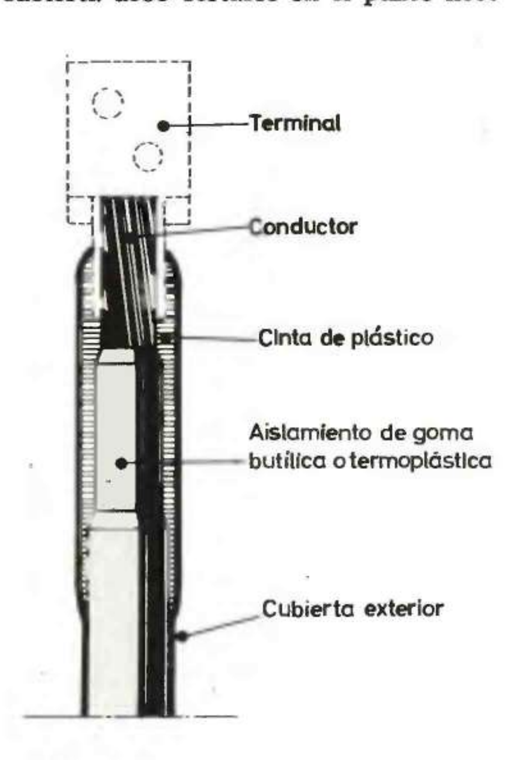
Cuando se instalan en interiores, estos cables no necesitan que sus extremos queden protegidos

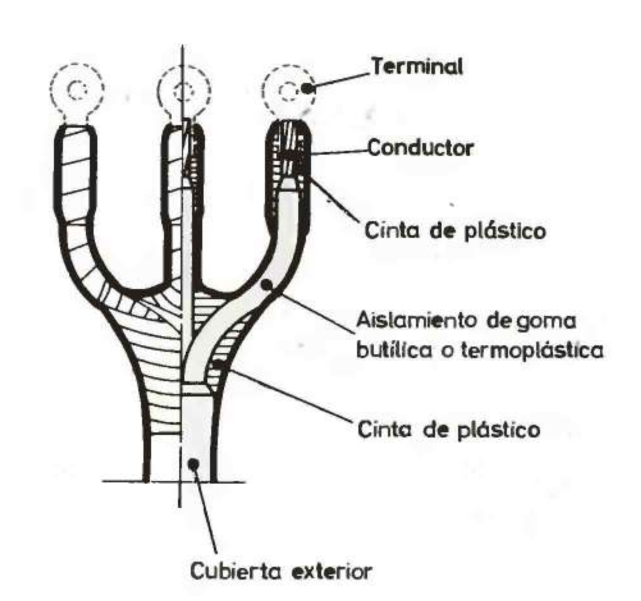
por cajas terminales. Sólo requieren la reconstrucción del aislante mediante cintas de goma butílica y la unión soldada de los terminales a los conductores. A continuación damos las normas para la ejecución correcta de estas operaciones .

Para los extremos unipolares se deja al descubierto la longitud de conductor necesario para la colocación del terminal; son suficientes unos 60 milímetros de la cubierta. En los cables multipolares, la cubierta debe cortarse en el punto necesario para poder abrir y separar las fases.

En todos los tipos es conveniente cubrir el aislamiento del cable con cinta adhesiva de plástico. En la figura se representa un final de cable unipolar y otro de cable tripolar.

Para tensiones de trabajo superiores a 1000 voltios, y en vez de la cinta de plástico, se utilizan cintas de goma sintética autovulcanizables, recubiertas de una capa de cinta adhesiva de tela o plástico.





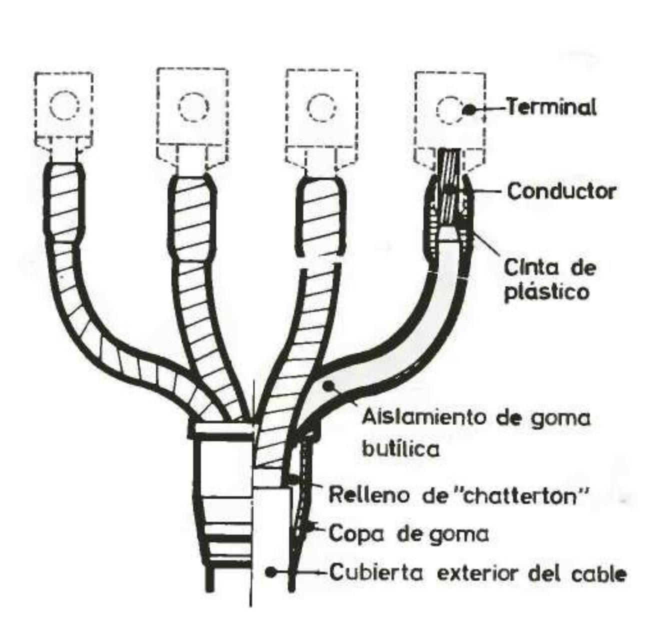
FINAL DE CABLES PARA EXTERIORES

Se procederá como para las terminales para interior. Si se desea para cables polifásicos, puede montarse una copa de goma sintética rellenada con una mezcla de pasta Chatterton, tal como se indica en la figura.

EMPALMES PARA CABLES AISLADOS CON GOMA SINTETICA O MEZCLAS TERMOPLASTICAS

Para los empalmes de cables aislados con goma sintética se utilizan cintas de goma y de plástico.

La cinta de goma debe ser autovulcanizable y de características iguales a las del aislamiento del cable; con su utilización se obtienen uniones totalmente homogéneas.



Finales de cable con aislamiento de goma sintética para intemperie. Utiliza una copa de goma rellena con pasta Chatterton.

Las cintas adhesivas de plástico están indicadas para su utilización en este tipo de cables, tanto para aislamiento como para cubierta o encintado protector. Si se trata de terrenos húmedos, o de cables a tensiones superiores a 1000 voltios, es preferible utilizar cintas de goma autovulcanizables, de mayor resistencia a la humedad.

Si se utilizan cajas de hierro fundido como protección del empalme, es indicado emplear como pasta de relleno la mezcla Chatterton. Por ningún concepto deben usarse mezclas que contengan aceites minerales u otras sustancias que puedan perjudicar el aislamiento de goma del cable.

Exponemos los procedimientos a utilizar para la confección de los distintos tipos de empalmes.

EMPALMES CON CINTAS DE PLASTICO ADHESIVO

Los empalmes con cinta de plástico adhesivo están indicados para cables instalados en interiores, al aire y enterrados en terrenos normales, siempre que su tensión de servicio no sea superior a 1000 voltios.

Se efectúa al corte del cable sacando la cubierta exterior y el aislamiento de goma. Seguidamente se procede a la soldadura de los conductores de la forma siguiente:

Colocar el manguito centrado respecto a los los dos conductores.

Realizar la soldadura por el sistema del cazo, con estaño al 50 %, y taponar las extremidades del manguito con hilo de amianto.

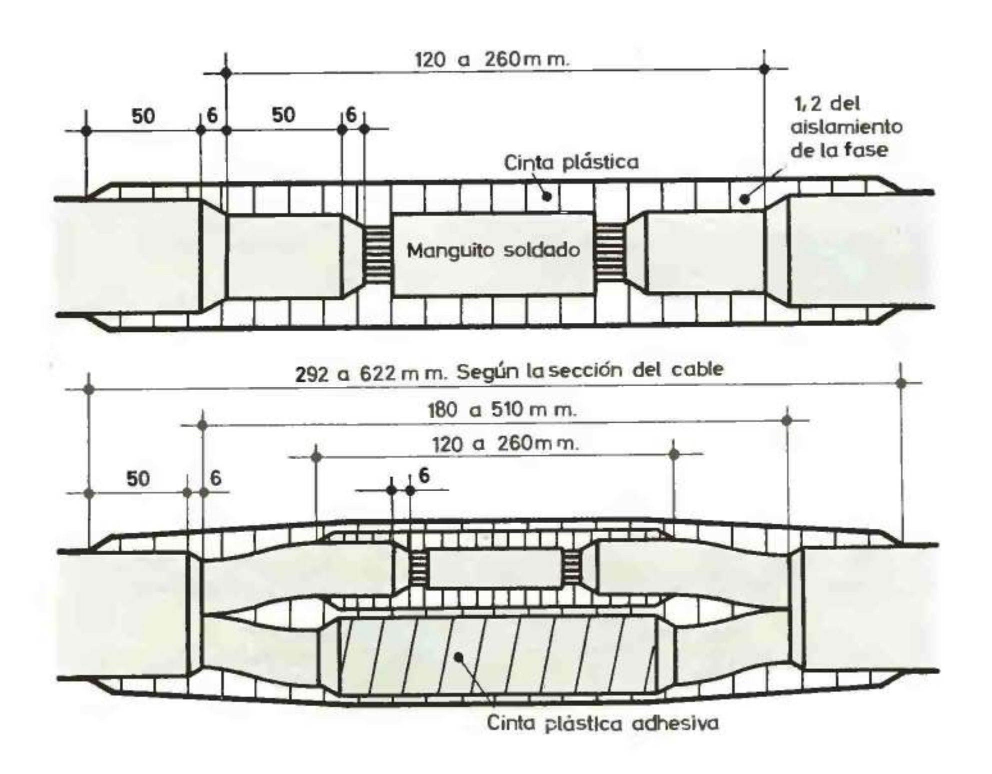
Pulir y alisar la soldadura con tela de esmeril.

Efectuar en la goma aislante y cubierta de protección las conicidades que muestra la figura.

Enrollar la cinta de plástico adhesiva, disponiendo el enfajado en varias capas hasta lograr un espesor de aproximadamente 1'5 veces el grueso del aislamiento de la fase. La cinta debe colocarse con la tracción suficiente para reducir su ancho a unas 3/4 partes de su medida inicial, de forma que se asegure una completa compactibilidad de la zona reconstituida.

Terminado este recubrimiento, reunir las venas de los cables multipolares. Volver los rellenos a su lugar de origen, insertándolos entre los intersticios de las fases aisladas. La sección del empalme debe resultar lo más redonda posible.

Raspar la cubierta del cable y aplicar un nuevo enfajado con cinta plástica, igual que el indicado antes, hasta obtener un espesor aproximadamente igual que el de la cubierta del cable.



EMPALMES CON CINTA DE GOMA AUTOVULCANIZABLE Y CINTA DE PLASTICO AUTOADHESIVA

Están indicados en las circunstancias de:

Empalmes para interior.

Empalmes enterrados en terrenos normales.

Empalmes enterrados en terrenos muy húmedos.

Se efectúa el corte del cable sacando la cubierta exterior y el aislamiento de goma. En los cables multipolares se vuelven hacia atrás los rellenos y se atan al cable.

Los manguitos se sueldan de la misma forma que en los empalmes con cintas de plástico autoadhesivas.

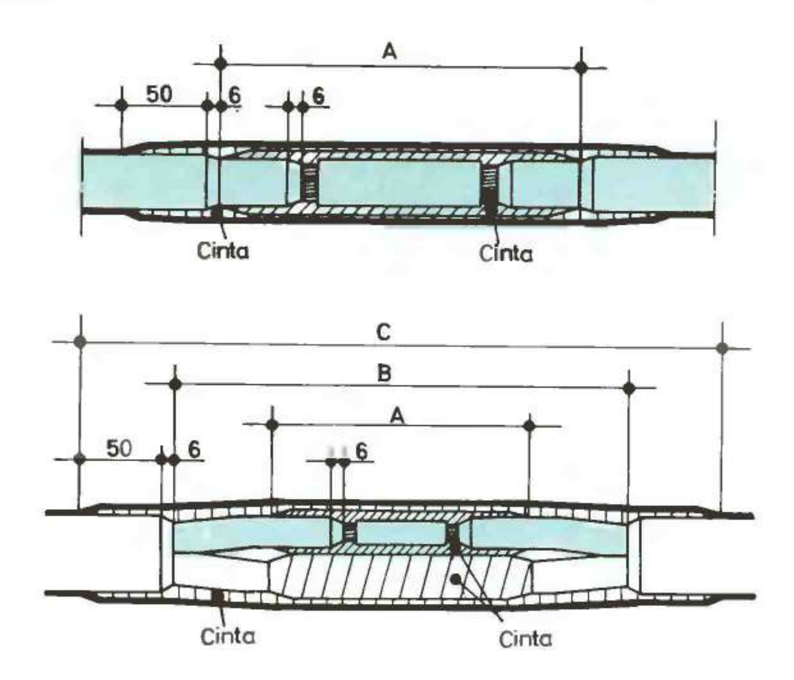
Efectuar las conicidades de la goma aislante y cubierta exterior procurando obtener superficies regulares.

Se raspa la goma aislante y se limpia con gasolina.

Enrollar la cinta de goma autovulcanizable en varias capas hasta obtener un grueso aproximado de 1'5 veces el espesor del aislante de la fase. La cinta se aplica con un ligero solape y buena tracción.

Se reúnen las venas de los cables multipolares, volviendo hacia adelante los rellenos e insertándolos entre los intersticios de las fases aisladas, de manera que la sección del empalme resulte lo más circular posible.

Raspar la cubierta del cable y aplicar la cinta autoadhesiva con un solape del 50 %, disponiendo el enfajado en varias capas hasta obtener un espesor igual al de la cubierta del cable. Para la tracción de la cinta se tendrá en cuenta lo expuesto en el apartado anterior.



Encintado con cinta de goma.

EMPALMES CON CAJA DE HIERRO FUNDIDO

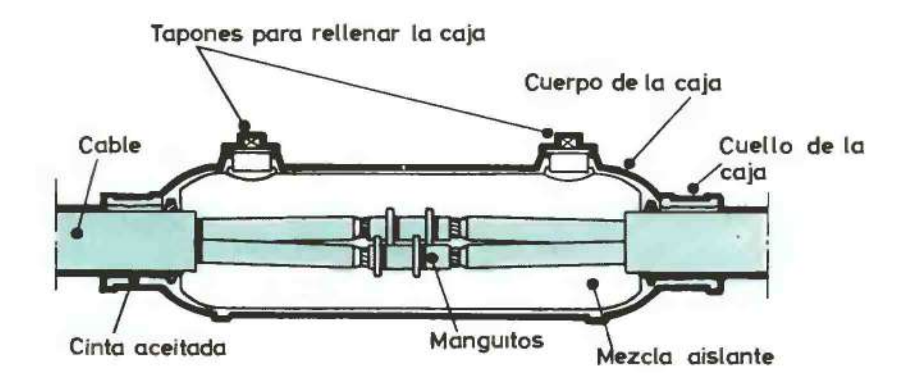
Se utilizan, tanto para interiores como para exteriores, siempre que se precise buena protección mecánica del cable.

Se efectúa el corte del cable sacando la cubierta exterior y el aislamiento de goma.

La soldadura de los conductores se realiza de igual forma que para los empalmes descritos antes.

Se procede a la colocación de la caja de fundición, asegurando su estanqueidad, mediante las juntas longitudinales y los collares de la caja. En las zonas de las bridas, encintar el cable con cinta aceitada o de yute embetunado.

Rellenar la caja con mezcla Chatterton calentada previamente a 130° C. Añadir pasta a medida que ésta se enfríe para compensar la contracción, asegurándose de que la caja queda completamente llena.

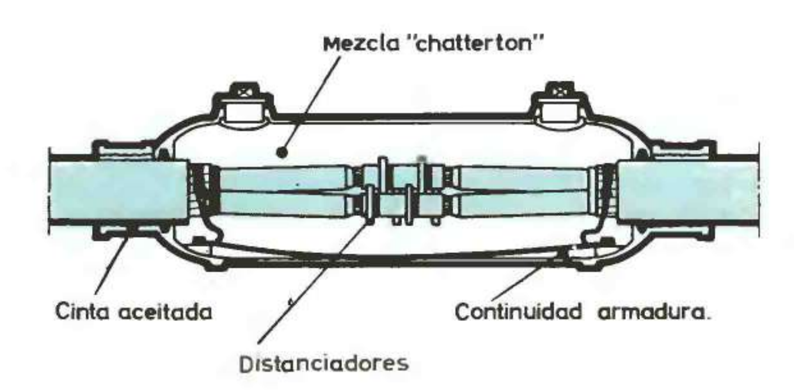


Empalme en caja de hierro de un cable bipolar sin armadura.

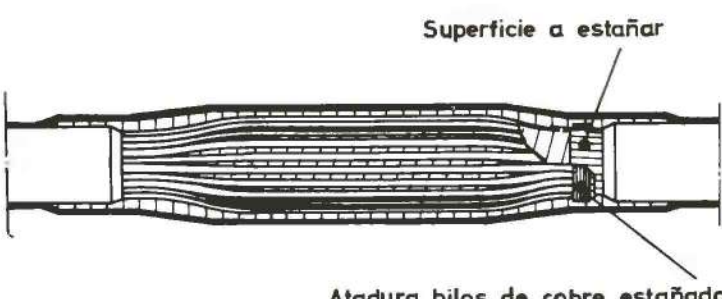
EMPALMES DE CABLES ARMADOS

En los empalmes de los cables armados es conveniente utilizar cajas metálicas para mantener la protección. Es indispensable dar continuidad eléctrica a las armaduras, para lo cual se hace sobresalir las armaduras unos 20 mm de las cubiertas exteriores de los cables. Alrededor de las mismas se enrolla y suelda con estaño una filástica de cobre de 6 a 10 mm² de sección, que efectúa el puente entre las armaduras.

En los cables con armaduras de pletinas y en los casos en que no interese utilizar caja de hierro fundido, la continuidad de las armaduras puede realizarse por medio de encintados y sobreposición de las pletinas, tal como se representa en la figura, con lo que se mantiene en el empalme, al menos en parte, el efecto protector de las armaduras que de otra forma desaparecería total o parcialmente.



Empalme en caja de hierro de un cable bipolar con armadura.



AVERIAS DE LOS CABLES SUBTERRANEOS AISLADOS

Desde el punto de vista de la localización de averías, los cables subterráneos se distinguen de las líneas aéreas por las circunstancias siguientes:

1. Los cables subterráneos no son fácilmente accesibles, y la localización de los defectos solamente puede hacerse a partir de sus extremos mediante técnicas apropiadas.

2. Los defectos eléctricos generalmente son permanentes, ya que la modificación del dieléctrico suele ser muy profunda en la región de un defecto y por tanto no puede regenerarse.

Los defectos de los cables pueden ser de origen interno o externo, y su frecuencia está en general comprendida entre uno y cinco defectos por 100 Km de cable y por año.

DEFECTOS DE ORIGEN EXTERNO

Aparte los casos de destrucción accidental y directa del cable (golpes de pico, etc.), que llevan consigo un cortocircuito directo, la mayor parte de los defectos de origen externo son resultado de una entrada de humedad.

La entrada de humedad en el aislante del cable está provocado por el deterioro de la cubierta externa, antes o después del tendido del cable; defectos de fabricación; golpes recibidos durante el transporte o durante posibles trabajos realizados en las cercanías del cable; movimientos del suelo; vibraciones y corrosiones.

La entrada de humedad en los accesorios tiene lugar por mal montaje de las cajas terminales o de empalme, o por mala concepción de las mismas.

Por la general el defecto se presenta mucho tiempo después de la causa que lo ha originado.

DEFECTOS DE ORIGEN INTERNO

Las principales causas internas de averías son: defectos de fabricación, generalmente impregnación defectuosa; sobretensiones, en especial cuando el punto neutro del circuito no está conectada a tierra; calentamiento excesivo; temperatura ambiente o resistencia térmica exterior demasiado grandes; envejecimientos del aislamiento (alteración de las cualidades dieléctricas del aislante ocasionada por el tiempo y condiciones ambientales inevitables).

METODOS DE LOCALIZACION DE LOS DEFECTOS ELECTRICOS

Los métodos de localización de los defectos eléctricos de cables subterráneos de energía presuponen operaciones sucesivas, que clasificamos en cinco categorías, correspondientes a las diversas fases de su búsqueda.

1. Operaciones preliminares, que tienen por objeto analizar el defecto.

2. Provocación eventual de la avería, en corriente continua o en corriente alterna. Esta operación tiene por objeto hacer franco el defecto; es decir: de resistencia lo más débil posible.

3. Localización aproximada a distancia, utilizando los métodos clásicos del bucle, así como métodos basados en la reflexión de las ondas electromagnéticas en el punto del defecto (radar) o en la variación de impedancia del cable en función de la frecuencia.

4. Localización precisa sobre el terreno, por detección del campo magnético a lo largo del cable, y por el ruido producido en el punto del defecto por la descarga de ondas de choque inyectadas en el cable por uno de sus extremos.

5. Marcado e identificación del cable defectuoso, en el punto del defecto, cuando hay varios cables juntos y el defecto no es aparente después de abrir la zanja.

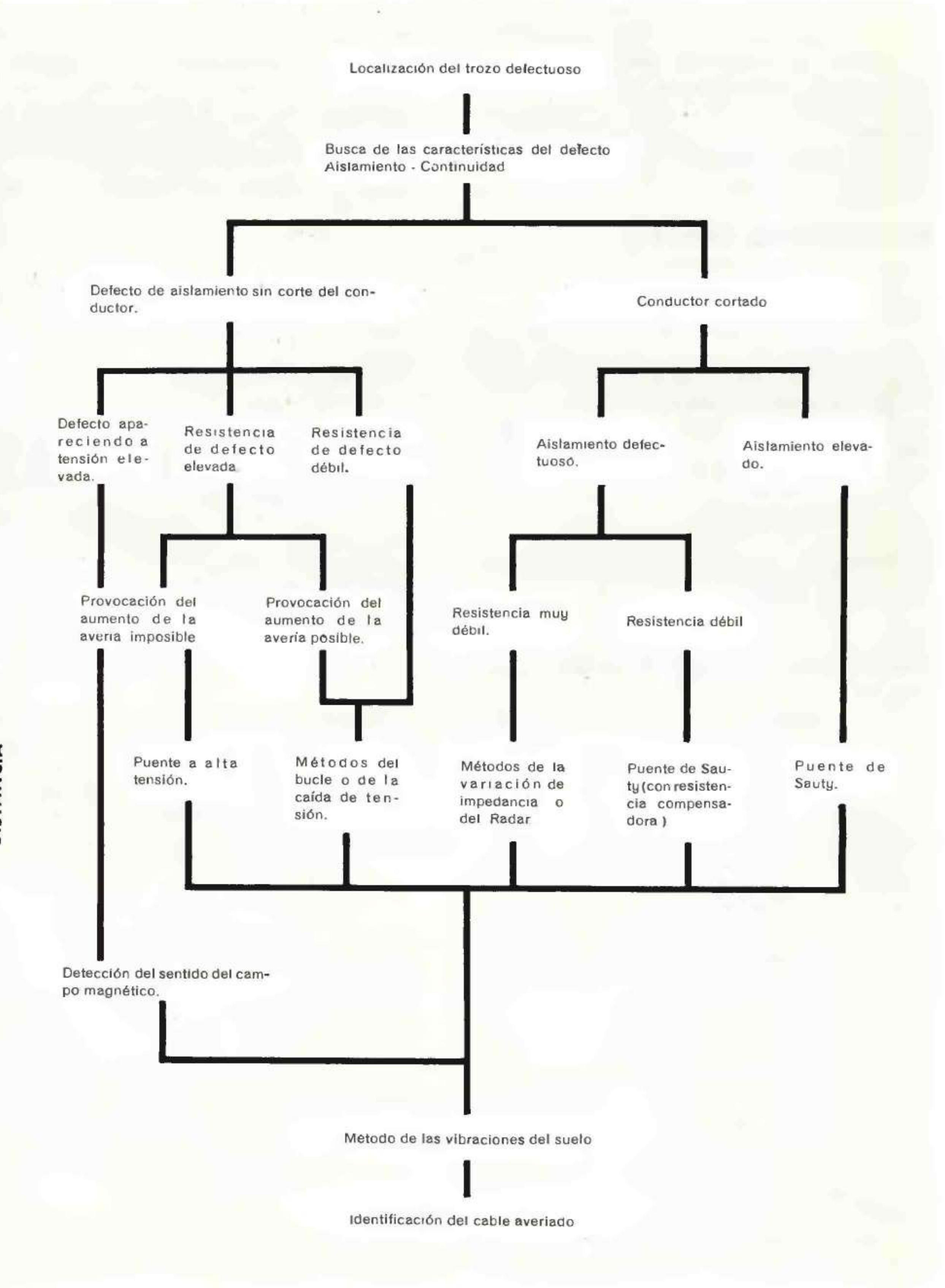
El cuadro adjunto representa en forma sinóptica la marcha a seguir para la localización de un defecto, dando una visión de conjunto de los métodos que después estudiaremos.

OPERACIONES PRELIMINARES

Cuando aparece una avería en un circuito de cables subterráneos, el primer trabajo a realizar, consiste en determinar el sector de cable defectuoso, a fin de poner nuevamente en servicio los sectores de cable sano y limitar la búsquda a la menor longitud posible de cable.

La selección puede hacerse automática o manualmente.

Es preciso determinar después las características y naturaleza del defecto, que son muy diversas, de las cuales depende el método de localización a adoptar.



ENSAYOS PRELIMINARES
LOCALIZACION A DISTANCIA
LOCALIZACION SOBRE EL TERRENO
Localización del trozo defectuoso
Busca de las características del defecto
Aislamiento - Continuidad
Defecto de aislamiento sin corte del conductor.
Conductor cortado
Defecto apareciendo a tensión elevada.
Resistencia de defecto elevada
Resistencia de defecto débil.
Aislamiento defectuosó.
Aislamiento elevado.
Provocación del aumento de la avería imposible
Provocación del aumento de la avería posible.
Resistencia muy débil.
Resistencia débil
Puente a alta tensión.
Métodos del bucle o de la caída de tensión.
Métodos de la variación de impedancia o del Radar
Puente de Sauty (con resistencia compensadora)
Puente de Sauty.
Detección del sentido del campo magnético.
Metodo de las vibraciones del suelo
Identificación del cable averiado

MEDIDAS DE AISLAMIENTO Y CONTINUIDAD

Deben efectuarse las medidas siguientes:

Medidas de aislamiento, que consisten en determinar las resistencias de aislamiento de los conductores entre sí y con relación a tierra. Estas medidas se efectúan a tensión relativamente elevada, en general utilizando un óhmetro a magneto cuya tensión mínima sea de 500 voltios.

Medida de continuidad, consistente en verificar que los conductores no se han cortado. Estas medidas se efectúan a baja tensión, utilizando un óhmetro de pilas conectado entre las dos extremidades del conductor ensayado.

ESQUEMA DEL DEFECTO

Los ensayos preliminares permiten determinar el esquema del defecto, que puede afectar a una o a varias fases del cable. El defecto puede considerarse como un conjunto de defectos elementales, cada uno de los cuales pertenece a alguna de las categorías siguientes:

AISLAMIENTO DEFECTUOSO, sea entre dos fases o una fase y la tierra.

En esta categoría distinguiremos:

DEFECTOS DE POCA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO, inferior a algunas decenas de miles de ohmios. Esto facilita la búsqueda del defecto.

DEFECTOS DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO ELEVADA, superior a 100000 ohmios.

DEFECTOS QUE SÓLO APARECEN A TENSIONES ELEVADAS, en los cuales la provocación de la avería franca es imposible con los medios de que se dispone.

CORTE DEL CONDUCTOR o, eventualmente, aislamiento defectuoso.

En esta categoría distinguiremos:

CORTES DE CONDUCTORES CON RESISTENCIAS DE AISLAMIENTO ELEVADAS, superiores a 100.000 ohmios, que son los más fáciles de localizar.

CORTES DE CONDUCTORES ASOCIADOS A UN DEFECTO DE AISLAMIENTO DE RESISTENCIA POCO ELEVADA, inferior a algunas decenas de millares de ohmios, más difíciles de localizar.

PROVOCACION DEL AUMENTO DE LA AVERIA

La provocación del aumento de la avería tiene por objeto disminuir el valor de la resistencia de aislamiento, antes del defecto excesivamente elevada, utilizando corriente eléctrica. De esta forma permite la localización ulterior de la avería por medio de alguno de los métodos clásicos.

El paso de una corriente suficiente para aumentar el defecto se consigue conectando el cable a un generador de esta tensión, sea de corriente continua o alterna. El empleo de un simple transformador de alta tensión (corriente alterna) no es aconsejable, pues es preciso cubrir la corriente capacitativa del cable, cuyo valor se hace excesivamente grande para cables de gran longitud.

Por otro lado, el proceso de provocación del aumento de la avería necesita, a lo largo de la operación, una tensión bastante elevada para que el defecto aparezca, ya que se precisa una intensidad lo más grande posible para que el aislante alrededor del defecto se carbonice. Estas dos condiciones exigen el empleo de una transformador demasiado potente, pesado y poco manejable.

Estas dificultades se soslayan utilizando transformadores especiales de inductancia de salida ajustable.

También puede emplearse un generador de corriente continua, cuya tensión máxima debe estar comprendida entre dos y tres veces la tensión nominal eficaz entre fases del cable a ensayar. La carga permanente admisible debe ser igual o mayor que 100 miliamperios. Los diferentes elementos del generador deben estar previstos para su utilización en vista a la producción de ondas de choque. El cable se somete a tensión creciente de forma progresiva, hasta un límite determinado por las posibilidades del generador o por la máxima tensión en corriente continua que el cable puede soportar sin riesgos de averías supletorias.

La duración del ensayo de provocación de aumento de avería varía según la naturaleza de la avería y la potencia del generador y está comprendida entre unos minutos y una hora. El aumento del defecto puede considerarse suficiente si la resistencia del defecto desciende por debajo de un valor compatible con las exigencias del método y los aparatos de localización utilizados y se mantiene en este valor. El aumento del defecto puede ser momentáneo y no permitir la localización mediante los métodos clásicos. Éste es el caso de

un defecto situado en una caja de empalme, donde el reblandecimiento de la pasta compound restablece rápidamente a un valor elevado la resistencia de aislamiento.

LOCALIZACION A DISTANCIA

La localización a distancia permite determinar la longitud de cable comprendida entre el defecto y el extremo desde el cual se efectúa la medida. Llevando esta distancia sobre el plano de tendido del cable se sitúa la posición geográfica aproximada del defecto.

La determinación del método a emplear depende de la naturaleza del defecto.

DEFECTO DE AISLAMIENTO

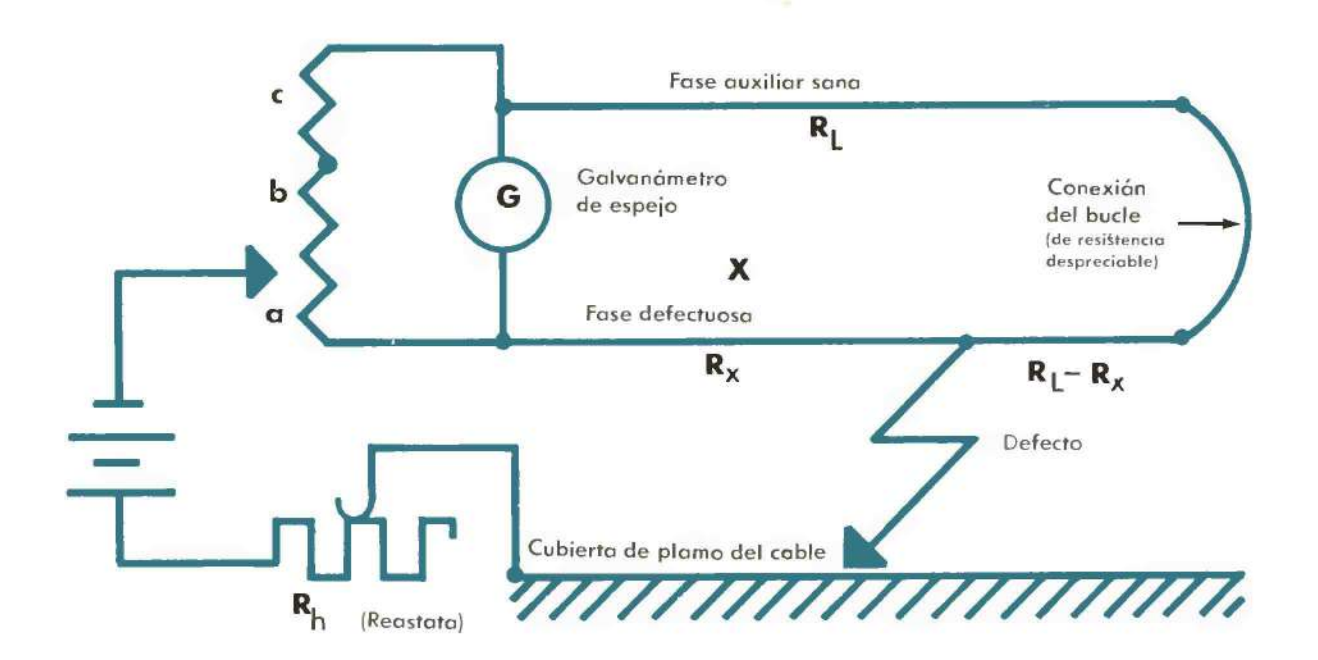
Método del puente de Wheatstone o del bucle

El principio del método más clásico, llamado del bucle, está representado en el esquema siguiente. En el extremo opuesto a aquel desde donde se efectúa la medida se une la fase defectuosa a una fase sana mediante un conductor de resistencia despreciable. *a* y *b* son las resistencias de las ramas del puente de Wheatstone empleado, corrientemente formadas por un hilo calibrado sobre el cual se desplaza un cursor; *c* es una resistencia fija igual a la resistencia a + b, de forma que la distancia al defecto sea medida en % de la longitud del cable.

Cuando los conductores del cable tienen diferentes secciones o son de diferentes materiales, la distancia debe calcularse a base de la resistencia en vez de la longitud. La precisión de la medida será tanto mayor, cuanto mayor sea la caída de tensión en el cable. En la práctica las corrientes están limitadas por la resistencia del defecto y la precisión depende de la relación:

$$\frac{\text{Tensión de alimentación del puente de medida}}{\text{Resistencia del defecto}}$$

Por tanto, es conveniente utilizar un puente de características apropiadas al defecto a localizar.



Cuando no se tenga desviación del galvanómetro, se tendrá:

$$\frac{a}{c} = \frac{R_x}{R_L} = \frac{x}{L} \text{ de donde } x = L\frac{a}{c} = L\frac{m}{100};$$

siendo m la lectura del cursor sobre el hilo calibrado en %.

Se distinguirán tres casos:

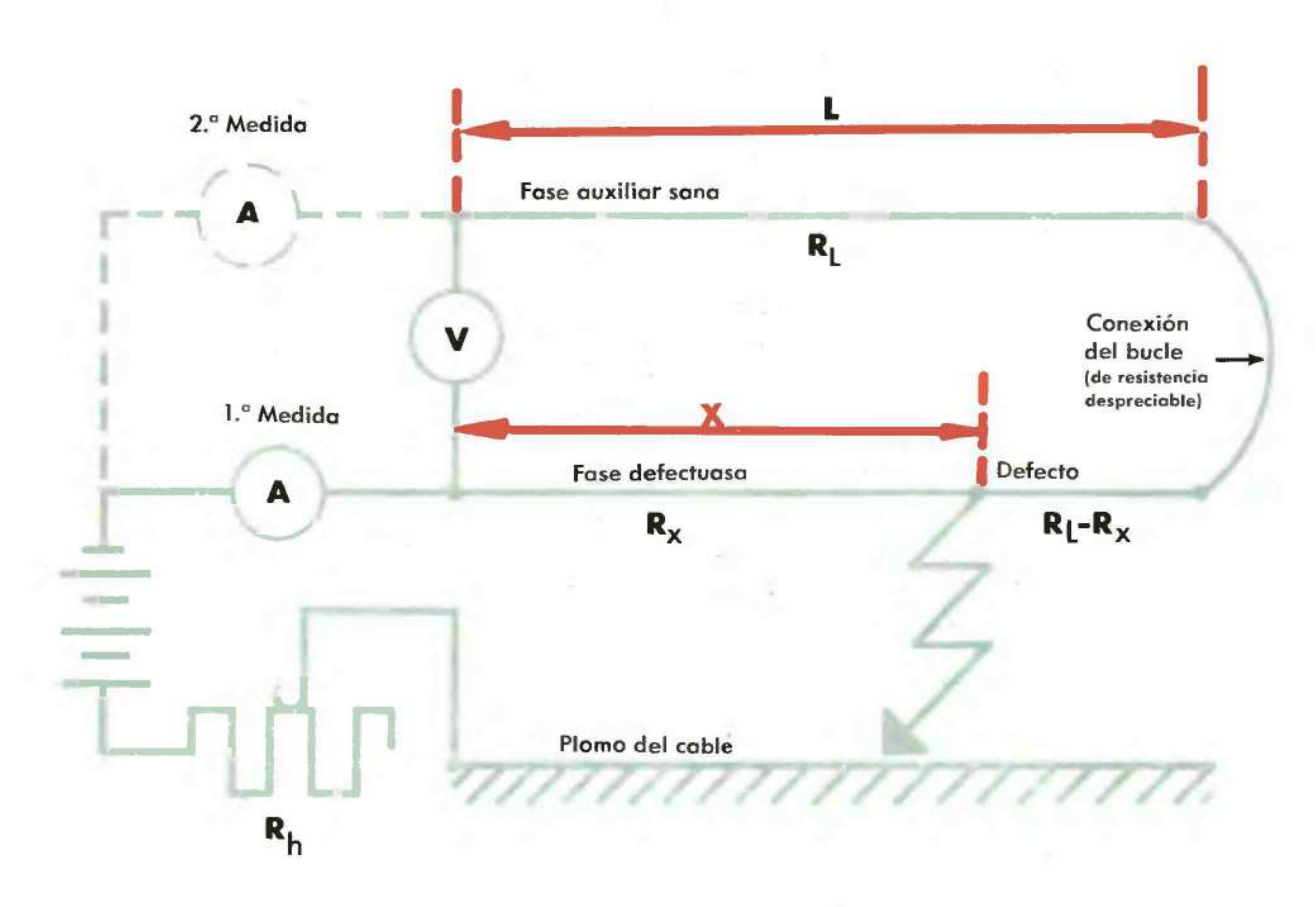
RESISTENCIA DEL DEFECTO MENOR QUE ALGUNOS MILLARES DE OHMIOS. Los puentes de localización funcionan con pila interna de pocos voltios, suficientes para obtener una buena precisión.

RESISTENCIA DEL DEFECTO COMPRENDIDA ENTRE UNOS MILLARES Y UNAS CENTENAS DE MILLARES DE OHMIOS. Es preciso alimentar el puente de localización con una fuente exterior de olgunos centenares de voltios (hasta 500 V) y con una intensidad de unos 100 mA.

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO SUPERIOR A ALGUNOS CENTENARES DE MILLARES DE OHMIOS. Es preciso, en este caso, utilizar un puente de localización especial, o puente de alta tensión, en el cual el aislamiento interno está previsto para permitir su alimentación a una tensión de hasta 5000 voltios. La fuente de alimentación está constituida por un generador de corriente continua de alta tensión.

Método de la caída de tensión

Para las resistencias del defecto pequeñas (algunos centenares de ohmios) se puede utilizar el método de la caída de tensión, cuyo principio se indica en el esquema.



A, amperímetro. V, voltímetro. Reostato.

Este método está basado en la comparación de las caídas de tensión producidas en el cable a uno y otro lado del defecto por una corriente de la mayor intensidad posible que atraviesa el defecto.

Una primera medida da:

$$V_1 = R_x \times I$$

Una segunda medida, efectuada ajustando la corriente al mismo valor, da:

$$V_2 = (2\ R_L - R_x)\ I$$

De donde se deduce:

$$\frac{R_x}{R_L} = \frac{2V_1}{(V_1 + V_2)} = \frac{x}{L}$$

Luego,

$$X = \frac{2\ LV_1}{V_1 + V_2}$$

CONDUCTOR CORTADO

Método del puente de Sauty

El esquema de la figura indica el principio del puente de Sauty, que permite comparar la capacidad del cable, desde el extremo donde se hace la medida hasta el punto de la avería, con otra capacidad de referencia, que a ser posible será la de una fase sana del mismo cable.

Cuando el equilibrio se ha realizado — sonido mínimo en el auricular telefónico —, se tiene:

$$\frac{a}{c} = \frac{C_x}{C_L} = \frac{x}{L}$$

$$\text{de donde } x = \frac{L \cdot a}{c} = \frac{L \cdot m}{100}$$

siendo m la lectura del curso en 90.

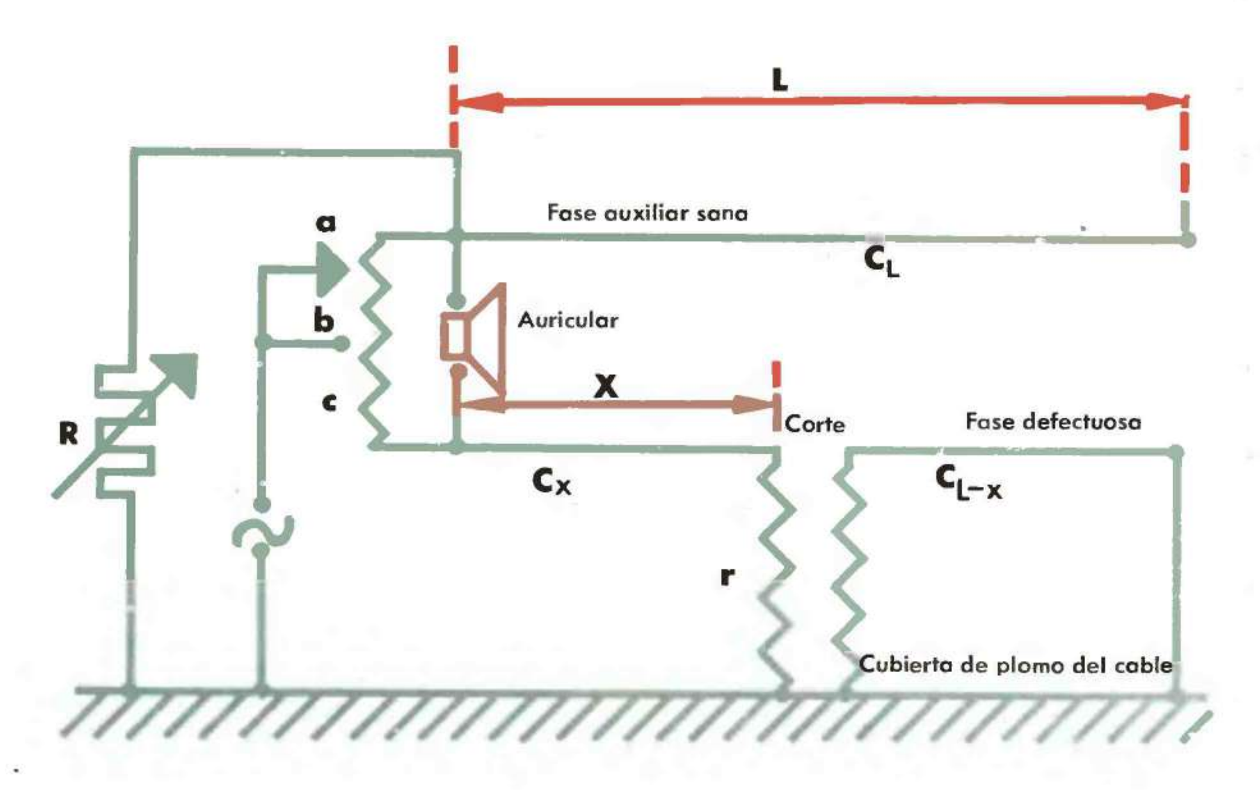
Si el cable no tiene ninguna fase sana, la medida se hace en los dos extremos del cable, con una capacidad de referencia exterior en el caso favorable de que el defecto presente características de aislamiento comparable, cualquiera que sea la extremidad por la cual se haga la lectura. En caso contrario será preciso conocer la capacidad lineal del cable. El puente de Sauty se alimenta con corriente alterna de frecuencia musical, y la búsqueda del equilibrio del puente se realiza con un auricular telefónico.

La sensibilidad y precisión de la medida dependen de la potencia de la fuente de alimentación del puente y de la forma de la tensión de alimentación, que debe ser lo más parecida posible a una senoide. Los puentes de Sauty poseen normalmente una fuente de alimentación autónoma, formada por una pila de algunos voltios y un vibrador. Para las medidas delicadas es preferible utilizar una fuente de alimentación exterior, formada por un oscilador electrónico de frecuencia musical que no sobrepase 600 Hz.

La localización del punto de corte es tanto más fácil cuanto mayor es su aislamiento. Distinguiremos tres casos:

1. Aislamiento perfecto o superior a 100000 ohmios. En este caso el equilibrio del puente se traduce en una extinción completa del sonido en el auricular. A medida que disminuye el aislamiento, la extinción no es completa, notándose un mínimo de sonido cuando se llega al equilibrio.

2. Resistencia de aislamiento inferior a 100000 ohmios, pero superior a algunos millares de ohmios. Es necesario en este caso, para percibir



r, resistencia de aislamiento.
R, resistencia variable utilizada en el caso de una rotura mal aislada.

el mínimo de sonido en el equilibrio del puente, disponer una resistencia variable R, tal como se ha indicado en el esquema. El ajuste de esta resistencia contribuye al equilibrio del puente.

3. RESISTENCIA DE AISLAMIENTO MUY DÉBIL, INFERIOR A ALGUNOS MILLARES DE OHMIOS. En este caso la localización del punto de defecto es muy delicada, y por tanto debe utilizarse otro sistema.

Localización por la propagación de ondas electromagnéticas

Existen dos métodos de localización a distancia de las fallas o defectos en los cables, basados en la propagación de las ondas electromagnéticas, que nos limitaremos a nombrar por su gran complejidad y por precisar personal técnico especializado para su utilización. Estos sistemas son:

MÉTODO DEL RADAR y MÉTODO DE LA VARIACIÓN DE LA IMPEDANCIA DEL CABLE EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA. El equipo preciso para estos métodos es costoso y complicado, por lo que su utilización se limita a largos tendidos de cables de gran importancia.

Defectos que aparecen tan sólo a tensiones elevadas

En este caso, si no se consigue provocar el aumento de avería, es imposible la localización a distancia. Un método aproximado consiste en alimentar el cable en alta tensión continua, y detectar el sentido del campo magnético creado en las cercanías del cable por la circulación de las corrientes de descarga, de sentidos opuestos en cada lado del defecto. La determinación de este sentido se efectúa por medio de una bobina detectora, conectada al amplificador vertical de un osciloscopio catódico y desplazada a lo largo del cable por un operador que la lleva de la mano.

PRECISION DE LA LOCALIZACION A DISTANCIA

Por mucho que sea el cuidado con que se realicen las medidas y ensayos de localización de defectos a distancia, se comete un error del orden de ± 1 ó 2 %.

Estos errores pueden ocasionar gastos de excavación importantes, si no se efectúa ninguna comprobación sobre el terreno.

Un error del 1 % cometido en la localización de un defecto, en un cable de 1 km de longitud, representa 10 m de zanja, mientras que si el defecto es detectado sobre el terreno, completando la localización a distancia, la longitud de la zanja puede reducirse a unos 3 m, tal como veremos a continuación.

LOCALIZACION DE LA AVERIA SOBRE EL TERRENO

Método del sentido del campo magnético

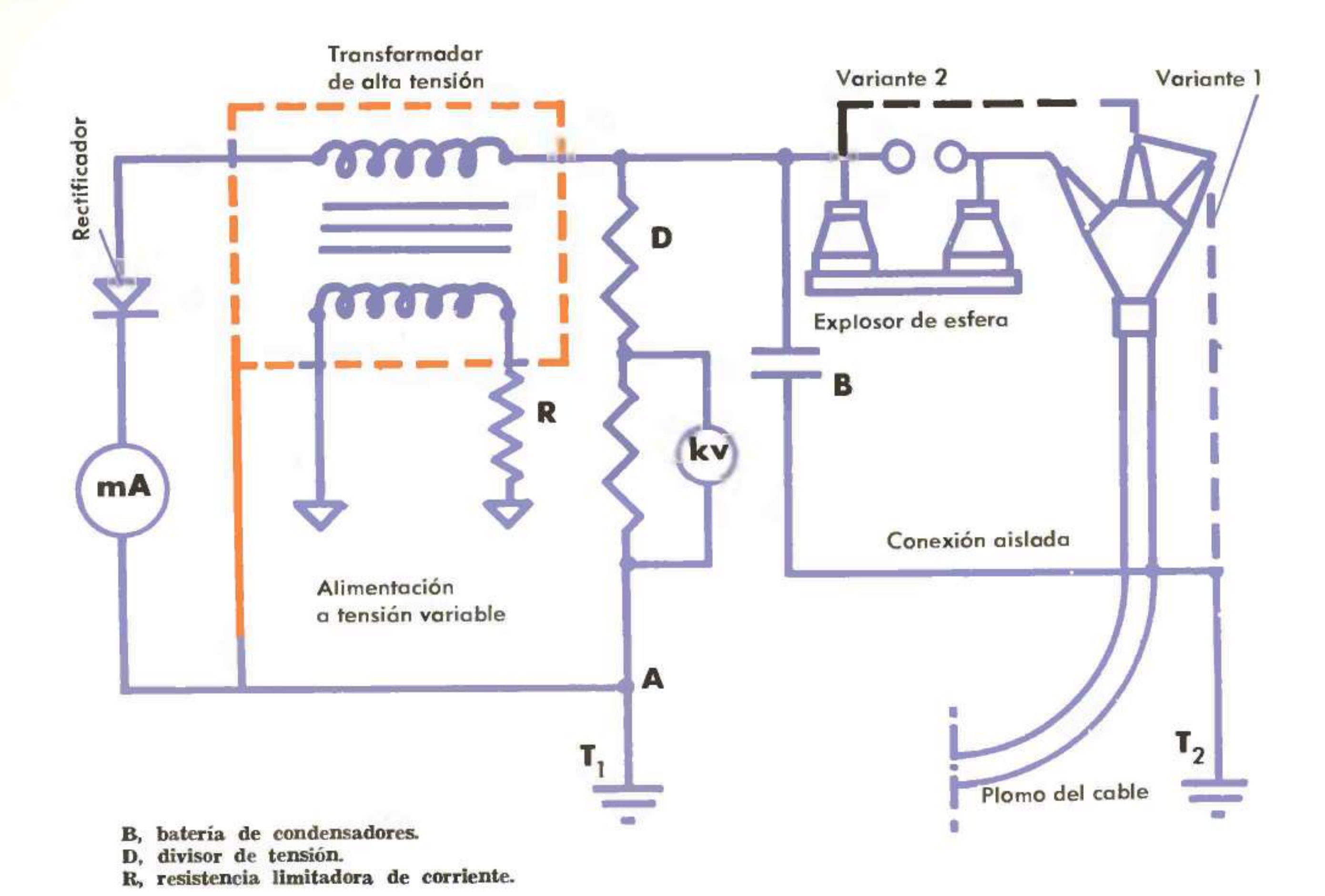
Hemos visto que la localización a distancia puede ser imposible en el caso de un defecto que solamente aparece a tensión elevada. Puede recurrirse entonces al método ya descrito del sentido del campo magnético, que determina, directamente sobre el terreno, una zona más o menos extensa en la que se halla el defecto buscado. La situación precisa del punto del defecto puede entonces realizarse utilizando el método siguiente.

Método de las vibraciones del suelo

Este método permite precisar directamente sobre el terreno el punto de defecto. Está basado en la escucha, en la superficie del suelo, del ruido producido por las descargas eléctricas en el defecto. Este método es aplicable sea cual sea la naturaleza del defecto, y debe utilizarse después de uno de los métodos de localización a distancia o de aproximación.

El cebado, en el defecto, se obtiene descargando condensadores en el cable defectuoso. La onda de choque resultante se propaga a lo largo del cable y se descarga en el defecto.

El generador de corriente continua de alta tensión que carga la batería de condensadores es, en general, el mismo que se ha utilizado para provocar el aumento de avería. En la figura se representa el esquema de un generador de ondas de choque.



B, batería de condensadores.
D, divisor de tensión.
R, resistencia limitadora de corriente.

PREVENCION DE ACCIDENTES

Dedicamos la última parte de esta lección a un tema que desearíamos fuese tomado muy en cuenta por nuestros lectores. Se trata de dar unas nociones básicas sobre la forma de evitar accidentes — cuya gravedad puede ser fatal — debidos a las posibles imprudencias que la ignorancia o la excesiva confianza hacen cometer cuando se manejan (valga la palabra) corrientes de alta tensión. Añadimos también las instrucciones elementales para proporcionar a un acidentado los primeros auxilios que pueden salvar su vida o disminuir la gravedad de una herida cuando el médico, por imposibilidad de tiempo o lugar, no puede acudir inmediatamente al lado del paciente

DISTANCIAS MINIMAS DEL PERSONAL A LOS CIRCUITOS CON TENSION

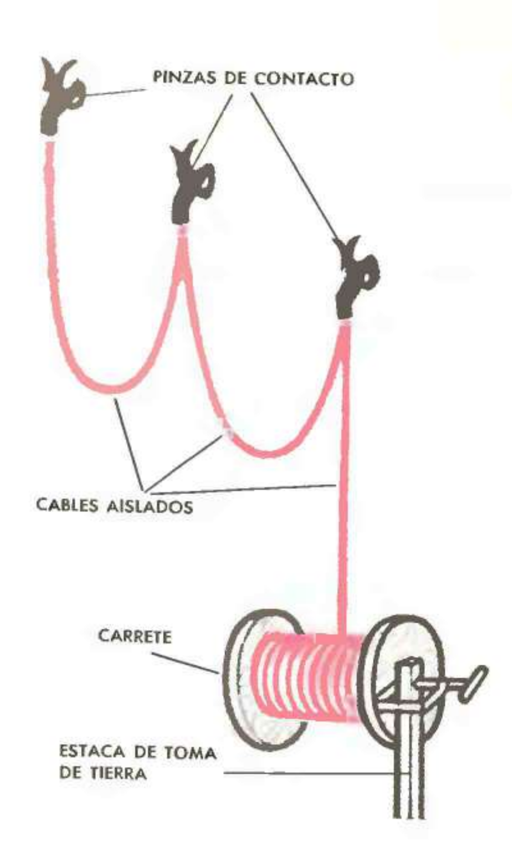
Nunca debe aproximarse nadie a los circuitos con tensión más allá de las distancias que a continuación se indican, a menos que estén protegidos de forma adecuada por cajas de metal conectadas a tierra:

De	751	a	3500	voltios	0'3	metros
»	3500	a	10000	»	0'6	»
»	10000	a	50000	»	1'0	»
»	50000	a	100000	»	1'5	»
»	100000	a	250000	»	3'0	»
»	250000	a	500000	»	4'5	»
»	500000	a	1000000	»	7'5	»

Cuando las necesidades propias de un servicio de mantenimiento (o por causa de alguna avería) obligan a trabajar en circuitos de alta tensión, se comprobará que tanto los disyuntores como los separadores estén abiertos. Una vez comprobada la desconexión del circuito, se procederá a la colocación de tierras colocando todas las fases en cortocircuito y derivándolas a tierra mediante pinzas y pértigas adecuadas a la tensión nominal de la línea.

En la página siguiente aparece, en síntesis, un equipo de puesta a tierra indicado para ser usado en las líneas aéreas.


Detalle de una pinza.



Para utilizar este equipo se procederá como sigue:

1. Clavar la estaca de toma de tierra en terreno compacto y húmedo; si es posible a distancia suficiente del poste, para evitar que el personal que debe subir a él pueda tocar el cable de tierra.

2. Fijar la bobina del cable en la estaca, desenrollándolo.

3. Fijar en la cabeza de la pértiga aislada las tres pinzas conectadas con la trenza de cobre.

4. Encaramarse al poste, hasta una distancia de 1'5 metros del conductor más bajo, y abrocharse el cinturón de seguridad.

5. Insertar las pinzas en los cables de la línea, comenzando por la que lleva la conexión con el cable de tierra. Encajar firmemente cada conductor entre los cuernos de la pinza, empujando hacia arriba hasta oir el ruido que indica que se ha cerrado la pinza alrededor del conductor. Seguidamente, retirar la percha separando la pinza del soporte.

Cuando se trata de trabajar en líneas subterráneas, sobre todo de alta tensión, una vez seguros de que las línea está desconectada, se procederá a descargar el cable cortocircuitando entre conductor y tierra, ya que el cable se comporta como un condensador. (El aislante es el dieléctrico; las armaduras, el conductor y la cubierta de plomo.) Las tierras se dejan colocadas hasta finalizar el trabajo.

INSTRUCCIONES PARA CASOS DE ACCIDENTE

Estas instrucciones deben seguirse, aun en el caso de que el accidentado presente todos los síntomas de muerte. Puede tratarse de una *muerte aparente* y nunca debe desatenderse un caso de esta naturaleza, puesto que gracias a auxilios como los explicados acto seguido han vuelto a la vida personas que *normalmente* debían darse por muertas.

Cómo proceder en casos de accidentes producidos por una descarga eléctrica. *Desconéctese el circuito inmediatamente.* Si no es posible, separar con cuidado a la víctima del contacto del circuito, utilizando para ello algún material aislante, como periódicos, cuerda seca, etc., para protegerse uno mismo. Nunca debe cometer la imprudencia de tocar al accidentado sin asegurarse de que entre usted y él hay un aislamiento suficiente.

Examinar al accidentado y ver si respira. *Si no está respirando practicar la respiración artificial,* tal como se indica más adelante.

Rápidamente, *aflojar la ropa al paciente*. Los instantes de demora son fatales. Tan pronto como sea posible deben inspeccionarse la boca y la garganta de la víctima para extraer cualquier cuerpo extraño, tabaco, dientes postizos, etc. Si tiene la boca fuertemente apretada, no hay que ocuparse de ella hasta después.

La respiración artificial deberá practicarse sin interrupción, manteniendo un ritmo regular y contando con lentitud «uno, dos, tres, cuatro y cinco», durante el movimiento, hasta que se restablezca la respiración natural. Si es necesario, deberá continuarse por cuatro horas o más, o hasta que el médico declare que la víctima ha fallecido.

Después de iniciada la respiración artificial, y sin interrumpirla, un ayudante deberá aflojar cualquier prenda de vestir que apriete el cuello, el pecho o a la cintura del paciente. Debe examinársele la boca si no se ha hecho antes.

Hay que mantener bien abrigada a la víctima.

Si cesa la respiración natural después de restaurada, practicar nuevamente la respiración artificial.

Cuando la víctima recobre los sentidos mantenerla acostada para evitar la tensión del corazón. No debe permitirse que se siente o se ponga en pie.

El paciente puede estar muy inquieto durante varios minutos cuando recobre el conocimiento. Puede necesitarse el uso de la fuerza y la ayuda de otra persona para mantener quieta a la víctima.

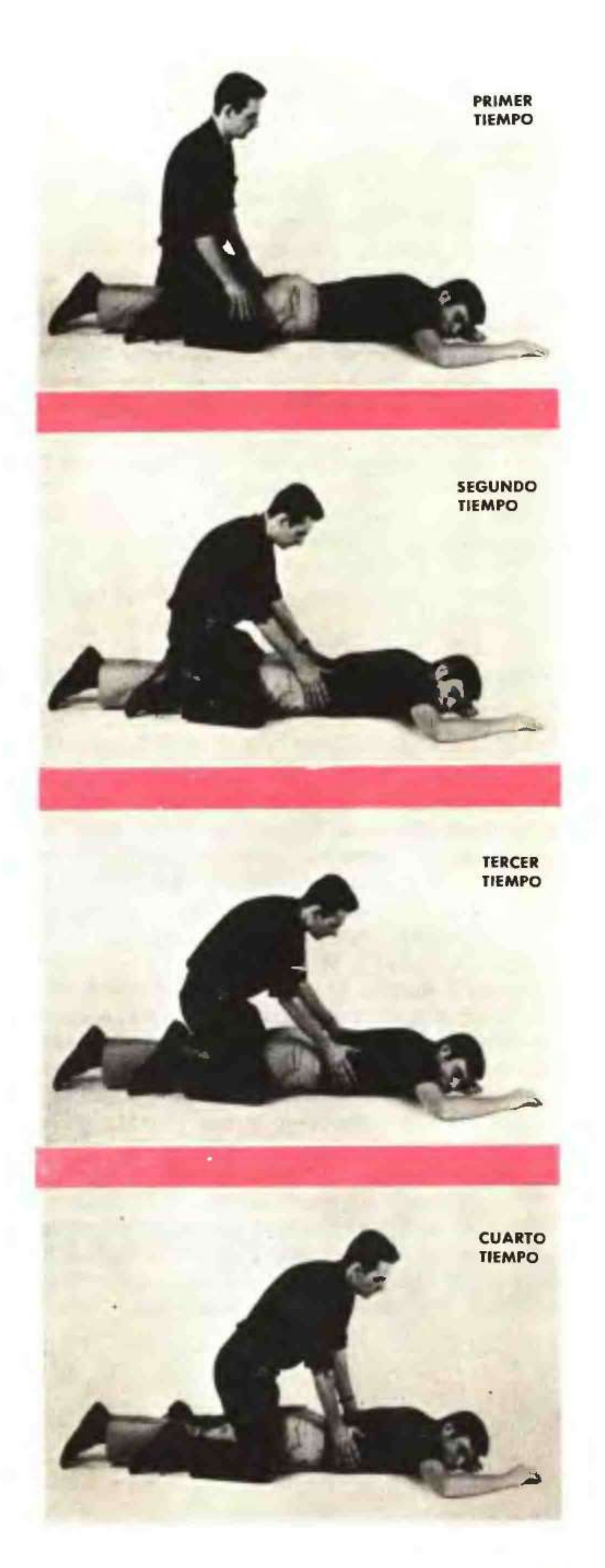
Al recobrar el conocimiento, puede dársele a tomar algún estimulante, como café solo o té. No son recomendables las bebidas alcohólicas.

Si durante la práctica de la respiración artificial es preciso reemplazar al practicante por cansancio, debe efectuarse el cambio sin que se pierda el ritmo de la respiración.

MODO DE PRACTICAR LA RESPIRACION ARTIFICIAL

Acuéstese al paciente boca abajo, con un brazo extendido más allá de la cabeza y el otro doblado en ángulo recto por el codo y con la palma de la mano hacia abajo, de modo que la cara del paciente descanse en el respaldo de la mano y que la boca y la nariz estén en posición que le permita respirar libremente.

PRIMER TIEMPO. Colocarse de rodillas y a horcajadas a los lados de los muslos del paciente, en la posición que aparece en el grabado.

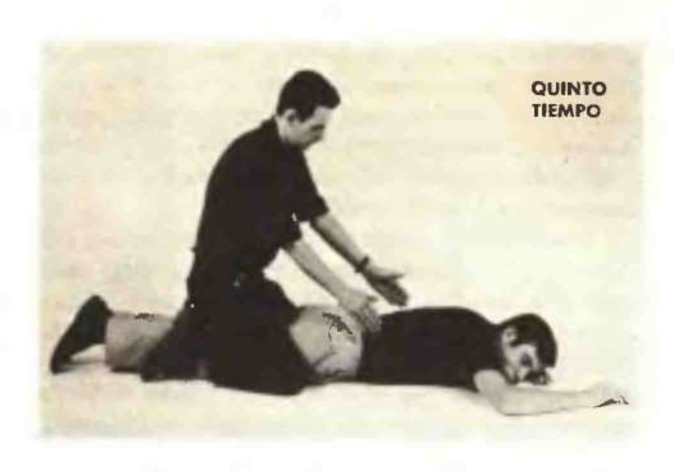


SEGUNDO TIEMPO. Colóquense las palmas de las manos sobre la espalda del paciente, con los dedos descansando sobre sus costillas de modo que los meñiques toquen las últimas costillas. Los pulgares y demás dedos en una posición natural, de manera que el practicante no pueda ver las puntas de sus propios dedos.

TERCER TIEMPO. Apretando ligeramente hacia adentro, muévanse las manos hacia adelante, inclinando también poco a poco el cuerpo hacia adelante, continuando este lento movimiento de inclinación hasta que los hombros estén casi directamente sobre las muñecas del practicante. Manténganse los brazos rectos durante todo este movimiento.

CUARTO TIEMPO. Al inclinar los hombros hacia adelante en un movimiento lento y continuo, empújese muy ligeramente hacia abajo la parte más baja del pecho. El movimiento no debe ser violento. De este modo la parte inferior del pecho y el abdomen se comprimen y se hace salir el aire de los pulmones.

Si la inclinación hacia adelante es demasiado pronunciada, es posible que la presión ejercida sobre la víctima sea excesiva, y además será difícil sostener el equilibrio en el quinto tiempo.



QUINTO TIEMPO. Suprímase de momento la presión ejercida, retirando las manos del cuerpo de la víctima en un movimiento horizontal, y vuélvase a la posición original del primer tiempo.

El doble movimiento de compresión y dilatación produce una respiración completa que debe durar alrededor de cinco segundos.

PRIMERA ASISTENCIA EN CASO DE QUEMADURAS

Una vez restablecida la respiración natural, si las quemaduras producidas por la descarga son graves deben someterse a tratamiento mientras se espera la llegada del método. *Una superficie desprovista de epidermis o con ampollas se protegerá inmediatamente del aire.* Si parte de la ropa está adherida a la quemadura, no se intente despegarla tirando de ella; córtese el tejido alrededor de la parte adherida, y sobre ésta, o sobre la superficie quemada, aplíquese un emoliente adecuado para quemaduras. Hágase un vendaje con gasa estéril; a falta de ésta, con tela limpia y suave. *No debe emplearse nunca algodón hidrófilo.*

Evítese el uso de pomada grasientas, que con frecuencia son incompatibles con el tratamiento definitivo aconsejado por el médico. Sin embargo puede hacerse una buena primera cura embebiendo una compresa de gasa o una tela limpia en solución templada de bicarbonato sódico (dos o tres cucharadas grandes, disueltas en 300 c.c. de agua hervida o simplemente limpia) y aplicándola sobre la quemadura. Cúbrase con un vendaje ligero.

Las quemaduras secas, cubiertas por tejidos orgánicos carbonizados, se cubren con gasa estéril y se aplica un vendaje ligero. *No deben humedecerse nunca con agua o aceites.*

No se deben reventar las ampollas originadas por quemaduras, y NUNCA SE APLICARÁ TINTURA DE YODO.

Cuando una persona sufre quemaduras extensas, casi siempre adolece también de *shock*. Manténgase al paciente echado, con la cabeza un poco más baja que el resto del cuerpo, a fin de que el aflujo de sangre al corazón y al cerebro esté favorecido por la gravedad. No se debe enfriar el accidentado. Désele a intervalos pequeños sorbos de té o café que por sus efectos estimulantes moderados actúan eficazmente.

* * *

ELECTRICIDAD

Centrales. Sus tipos

Equipo eléctrico para centrales y subcentrales

Instalación de cuadros eléctricos

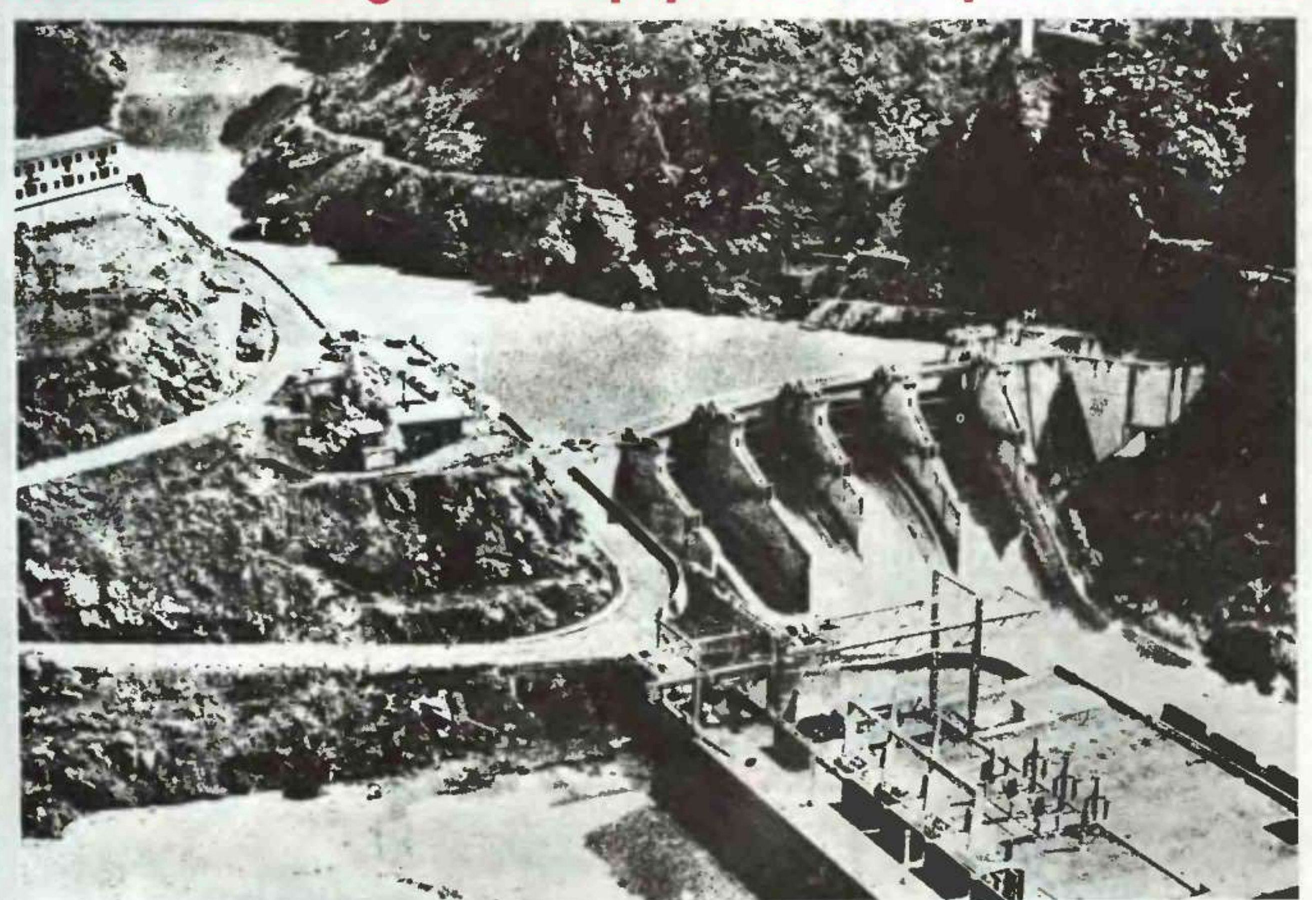


LECCION Nº 23

canalizaciones eléctricas

3

Centrales - Idea general - Equipo eléctrico para centrales



CENTRALES ELECTRICAS

Deseamos hablar de centrales; pero anticipamos que nuestra intención no alcanza otros límites que los que atañen a una información muy básica en las cuestiones que se refieren a la naturaleza electromecánica de estos complejos productores de energía eléctrica.

En cambio, nos hemos esforzado en ofrecer al lector una amplia y detallada descripción de los ingenios que constituyen lo que podemos denominar la aparamenta eléctrica de una central. Es éste el punto donde creemos prestar un señalado servicio al futuro técnico electricista, por abarcar un campo que entra en su jurisdicción —acepte este concepto— y de cuyo contenido existe aún una notable escasez de información bibliográfica.

Advertimos, también, que en esta lección aparece información gráfica con la indicación de su procedencia (marca de fábrica). Esto puede llevarle a pensar que aquí se ha perdido la tónica que viene siendo norma en nuestro Tratado y que tiende siempre a procurar la máxima generalización.

En una temática tan especializada como la que se desarrolla en esta lección resulta poco menos que imposible la generalización que pregonamos. Resulta mucho más efectivo concretarse a unos modelos que, por su calidad técnica, se han convertido en prototípicos.

Después de estas aclaraciones que hemos considerado imprescindibles entremos en otra cuestión:

El nombre específico de las centrales eléctricas deriva del tipo de fuerza electromotriz empleada para la obtención de la energía eléctrica. Tradicionalmente, las centrales se dividen en:

CENTRALES HIDROELÉCTRICAS. Son las que utilizan la energía debida a una masa de agua (energía hidráulica).

CENTRALES TÉRMICAS. Son las que utilizan el calor como fuente de energía.

Estas centrales se subdividen, a su vez, en:
Centrales con máquinas y turbinas de vapor.
Centrales con motores de combustible líquido.
Centrales atómicas o centrales nucleares.

El fundamento de estas centrales es siempre el mismo: disponer y controlar una fuente de energía capaz de convertirse en energía mecánica, y utilizarla en la obtención del movimiento de giro de los elementos rotóricos de los generadores que convierten la energía mecánica en energía eléctrica.

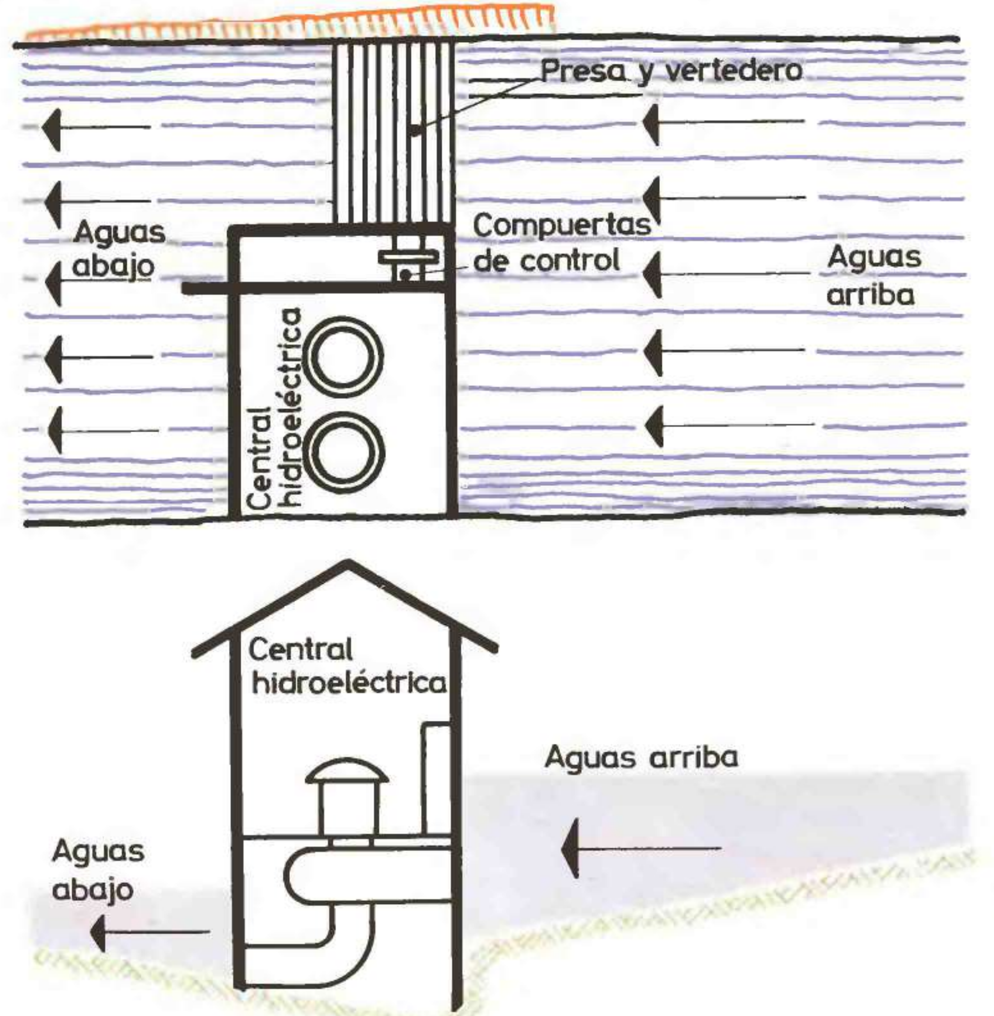
CENTRALES HIDROELECTRICAS

En estas centrales se aprovecha la energía potencial de un salto de agua. Se contiene la masa líquida, se canaliza a lo largo de un desnivel y se dirige a las turbinas que imprimen el movimiento de rotación a los alternadores.

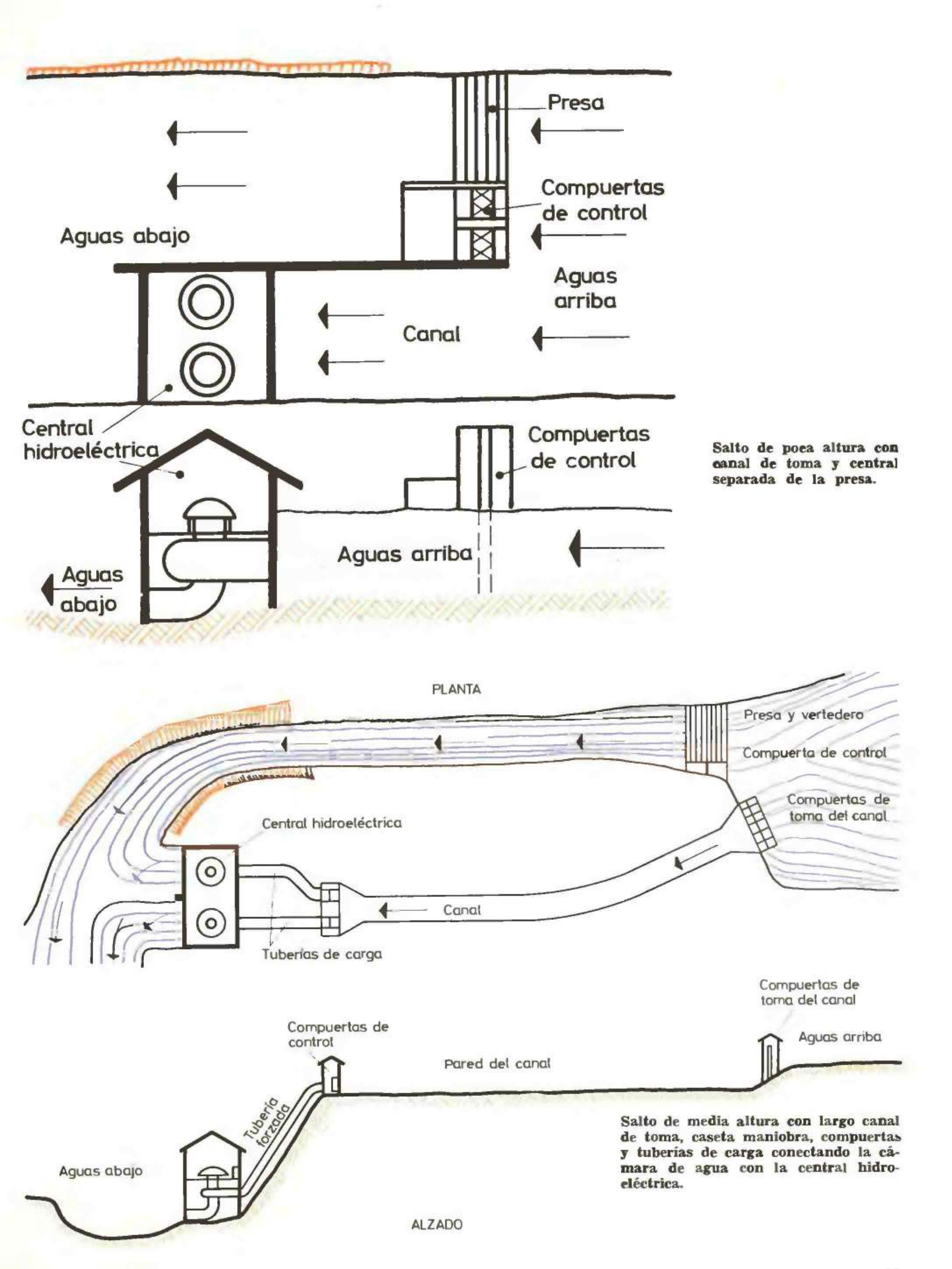
Toda la energía aprovechable proviene del trabajo realizado cuando se desploma una determinada masa de agua desde cierta altura. Para obtener este resultado, todas las instalaciones hidroeléctricas constan de los siguientes elementos:

1. Una presa de contención.
2. Un conducto (canal o tubo) que conduce el agua a las turbinas.
3. La central o equipo eléctrico.
4. Las líneas de distribución.
5. El canal de descarga.

Vea la representación esquemática de distintos tipos de instalaciones hidroeléctricas.

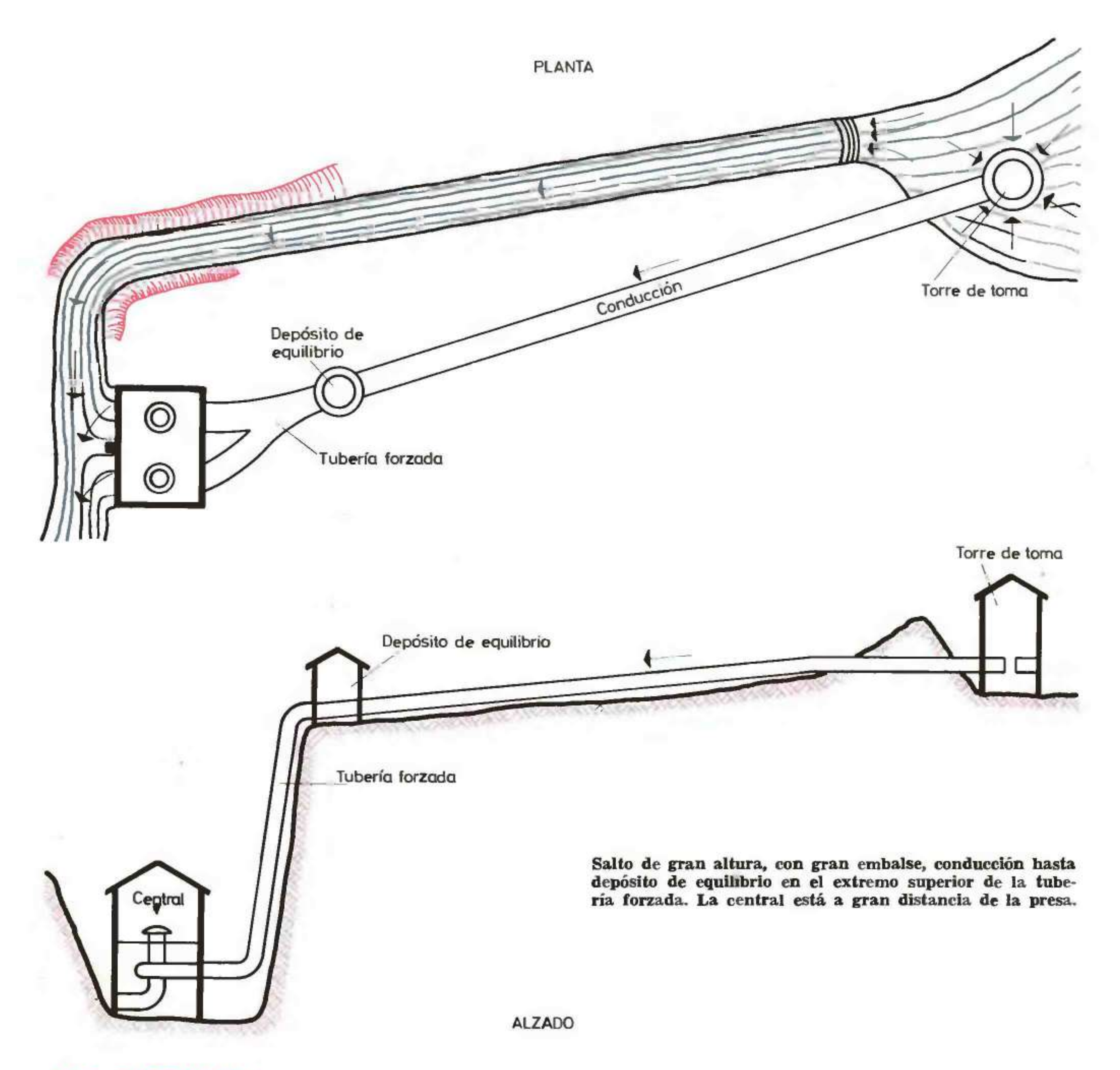


Salto de poca altura con presa, vertedero y central hidroeléctrica formando una unidad.



Salto de poca altura con canal de toma y central separada de la presa.

Salto de media altura con largo canal de toma, caseta maniobra, compuertas y tuberías de carga conectando la cámara de agua con la central hidroeléctrica.



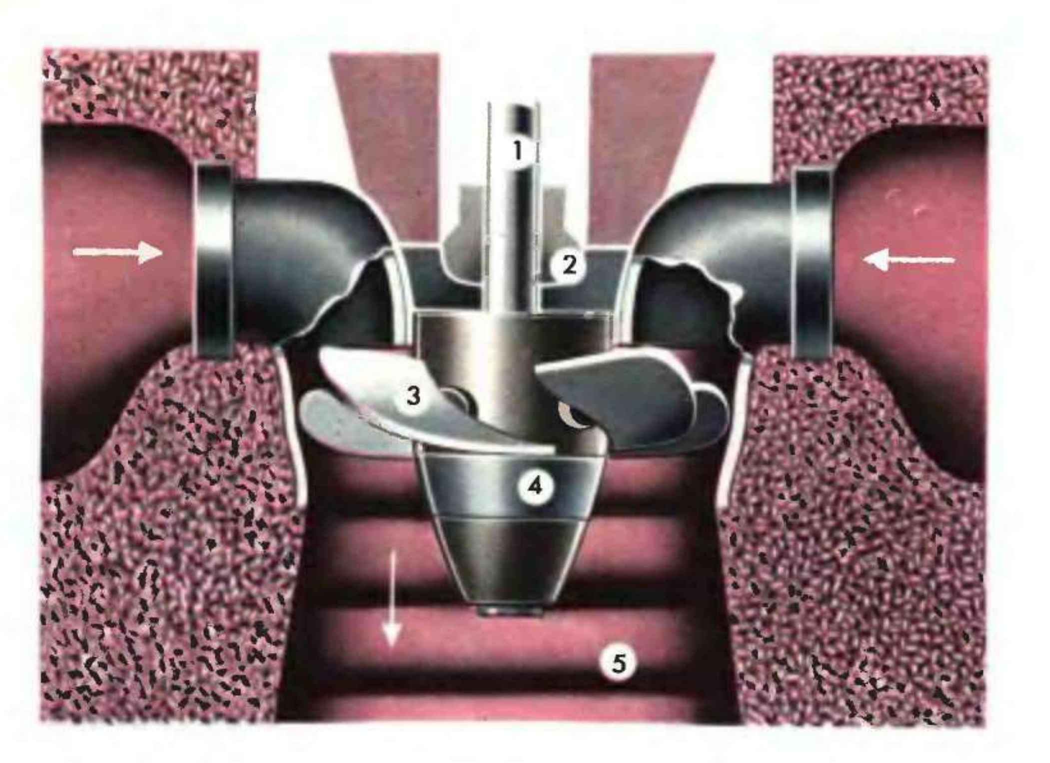
Salto de gran altura, con gran embalse, conducción hasta depósito de equilibrio en el extremo superior de la tubería forzada. La central está a gran distancia de la presa.

LAS TURBINAS

En las centrales hidráulicas la máquina motriz es la turbina. Su objetivo es transformar en energía mecánica la energía hidráulica determinada por la altura del salto y por el caudal.

Una turbina, en síntesis, está formada por una parte fija y otra móvil. La parte móvil consta de un rodete provisto de palas que gira al recibir el empuje del agua. Este rodete, solidario de un eje, transmite por medio de éste el movimiento de giro al generador. La parte fija, que podemos llamar cuerpo, dirige el agua para que choque de la formá más adecuada con las palas del rodete. Además, la turbina lleva los correspondientes cojinetes, reguladores de velocidad, etc.

La figura reproduce la sección de una turbina, elemento cuyo conocimiento técnico implica un profundo estudio hidrodinámico y cuya construcción requiere vencer múltiples dificultades.



1. Eje.
2. Cojinete.
3. Pala.
4. Rodete.
5. Tubo de aspiración.

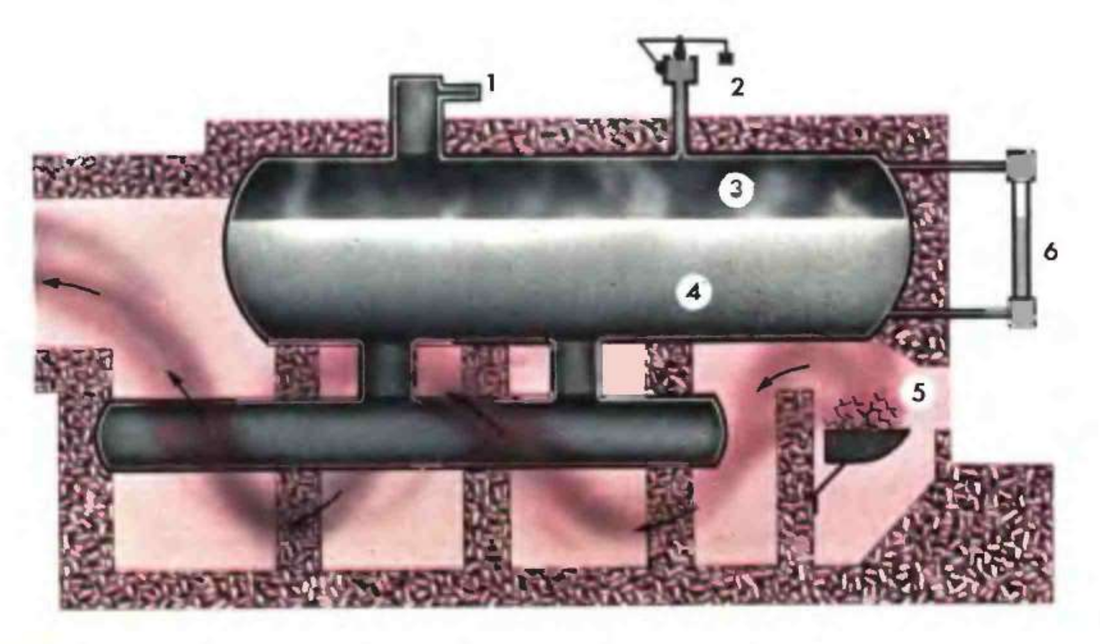
Se entiende por térmica la central eléctrica que utiliza la energía debida a una combustión. Mediante turbinas de vapor o máquinas de vapor, la energía calorífica se transforma en energía mecánica; a su vez, ésta es transformada en energía eléctrica por los generadores.

Es decir: en una central térmica, siempre se encuentra un foco calorífico (productor de calor), una caldera de vapor y una máquina o turbina de vapor, además de los generadores y equipo eléctrico.

Hablemos un poco de las calderas de vapor, que son el elemento común a todas las centrales térmicas.

Una caldera de vapor, con más o menos adelantos técnicos, es un receptáculo donde se produce la ebullición de una masa de agua que al convertirse en vapor somete a dicha caldera a una presión determinada.

La figura representa esquemáticamente un sistema de caldera que ha quedado anticuado, pero que aún se utiliza en pequeñas instalaciones.



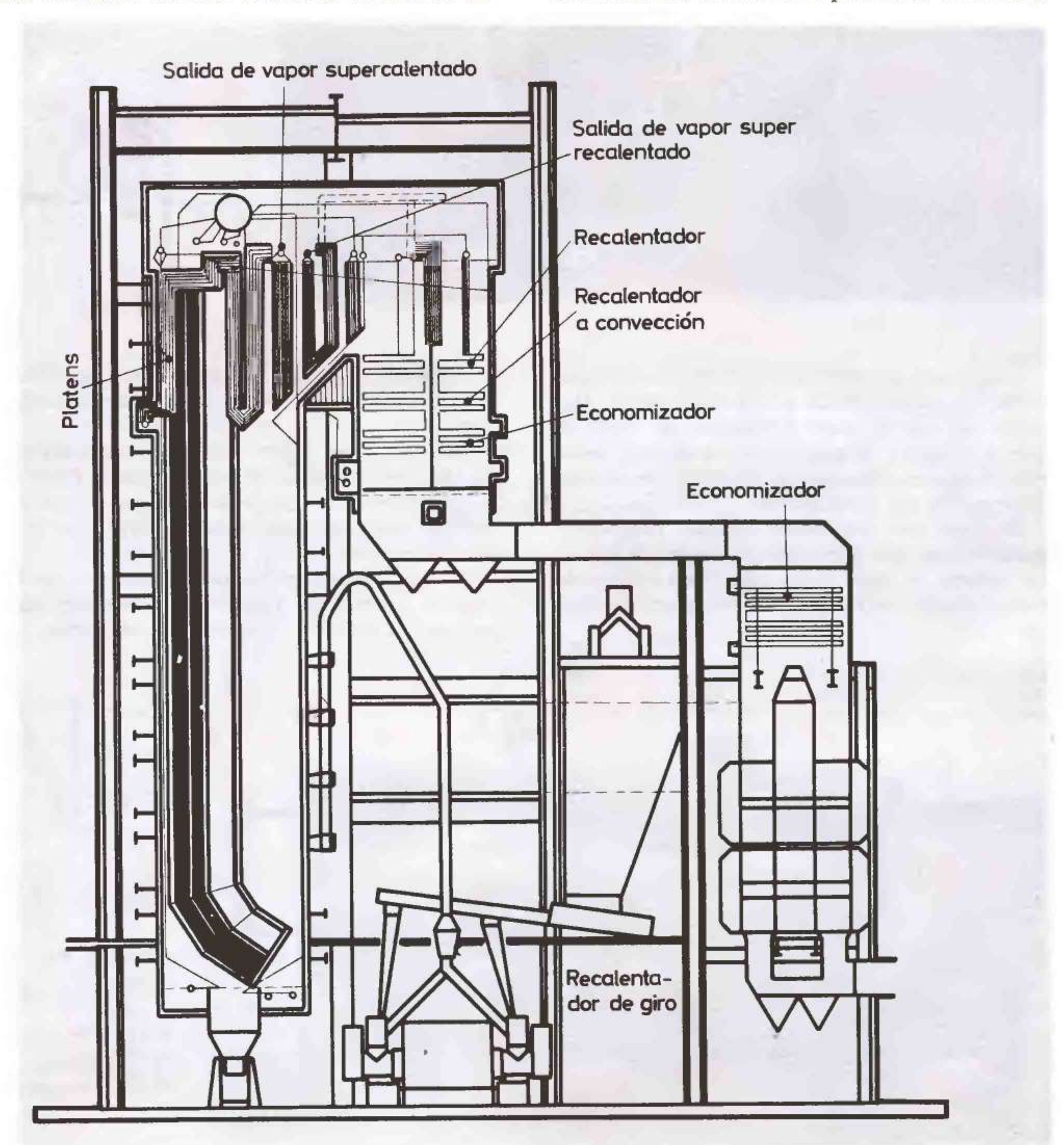
1. Salida del vapor.
2. Válvula de seguridad.
3. Vapor de agua.
4. Agua.
5. Quemadores.
6. Nivel de agua.

En esta caldera el vapor se produce por ebullición del agua, sin ningún recalentado posterior. Este tipo tiende a desaparecer y solamente se encuentra en instalaciones que requieren una presión de vapor inferior a 8 Kg/cm².

En las calderas modernas el vapor y el agua circulan por el interior de una red muy extensa de tuberías, mientras que los gases calientes que provienen del quemador circulan alrededor de dicha red. Estas calderas reciben el nombre de calderas tubulares, y de su complicación da buena idea la figura que representa el corte de una caldera FIVES-PENHOET. Este artefacto consume 770 Tm/h de carbón pulverizado.

Los quemadores de las calderas pueden ser para carbón sólido, carbón pulverizado o aceites pesados (fuel-oil, gas-oil, etc.). Hoy en día la tendencia es usar estos últimos combustibles.

Una vez salido de la caldera, el vapor se canaliza hasta una turbina de vapor. Estas turbinas se



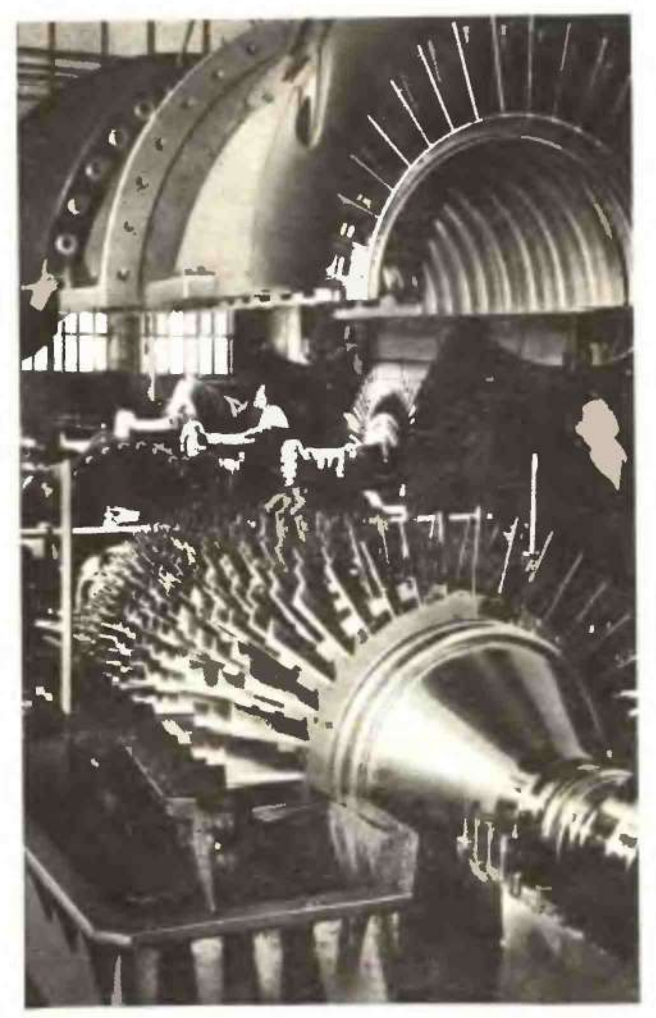
Corte de una caldera Fives-Penhoet. 770 Tm/h de carbón pulverizado.

fundamentan en el mismo principio que las hidráulicas si bien difieren mucho, desde el punto de vista constructivo, debido simplemente a las grandes presiones a que entra en ellas el vapor. Las turbinas de vapor llevan varios rodetes provistos de palas adecuadas; sus juntas deben garantizar una buena estanqueidad, imprescindible para evitar escapes de vapor que motivarían la pérdida de presión.

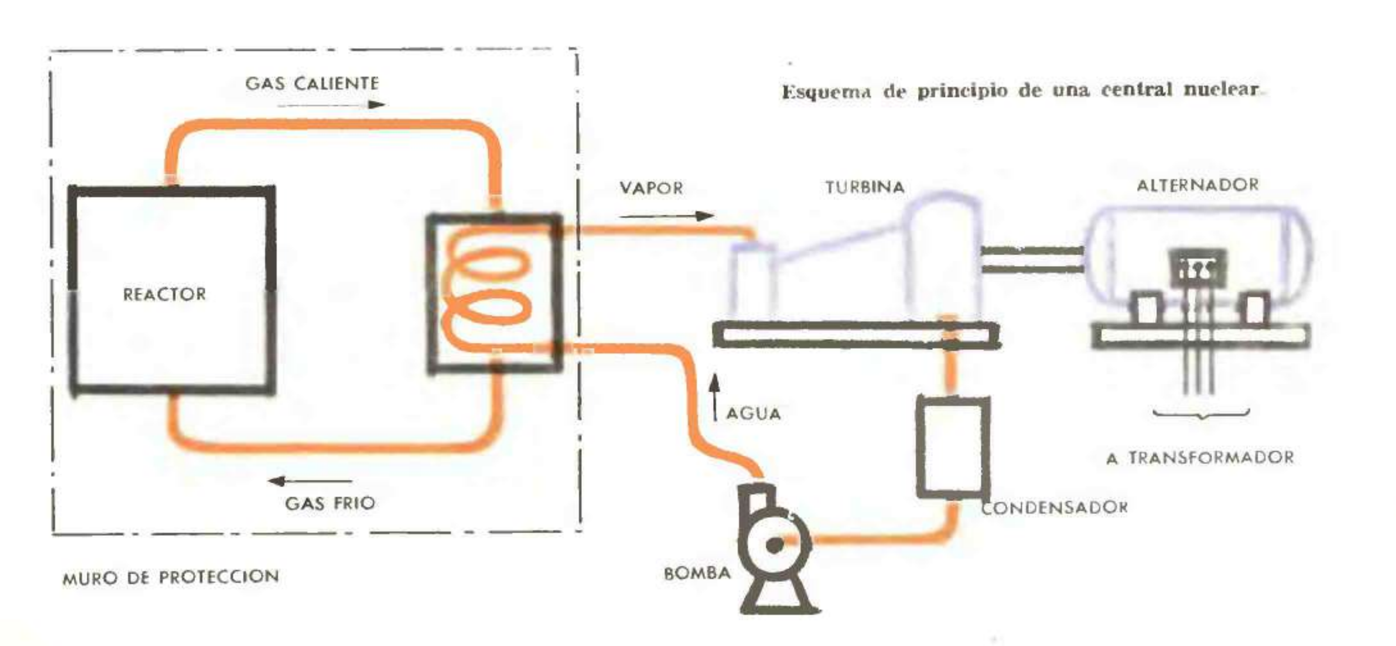
CENTRAL ELECTRICA CON ENERGIA ATOMICA

Como generador de energía, un reactor nuclear debe ser considerado simplemente como un foco productor de calor que, en una central eléctrica, sustituye al horno que calienta la caldera donde se produce el vapor a la temperatura deseada para el funcionamiento de la turbina o turboalternador. En síntesis, una central eléctrica movida por energía atómica consiste en un reactor nuclear, una caldera y un turboalternador; o sea, que su equipo es en la práctica el de una central térmica en que se hubiera sustituido el foco de calor por un reactor nuclear.

Evidentemente, el reactor y la caldera, así como las tuberías que los unen, deben estar provistos de los correspondientes muros de protección. No es menos evidente que lo que aquí aparece como un esquema de principio lleva involucradas grandes complicaciones técnicas que ni tan sólo intentamos apuntar.



Compresor de una turbina de vapor Siemens. Obsérvese la cantidad de rodetes con sus palas correspondientes.



Esquema de principio de una central nuclear.

EQUIPO ELECTRICO EMPLEADO EN LA INSTALACION DE CENTRALES Y SUBCENTRALES

SECCIONADORES O SEPARADORES

Los aparatos que se utilizan para separar de la línea general diferentes secciones de línea u otros aparatos, con el fin de poder trabajar en estos últimos sin peligro, reciben los nombres genéricos de seccionadores o separadores. Los seccionadores o separadores sólo pueden maniobrarse sin carga, ya que no tienen capacidad de ruptura suficiente para cortar el arco eléctrico que se forma al abrir un circuito con carga.

Los seccionadores, por su forma constructiva, pueden dividirse en los siguientes grupos:

Seccionadores o separadores	**de cuchillas**	**Apertura de cuchillas vertical**
		Apertura de cuchillas horizontal
	de antenas	

Además de esta clasificación general, se distinguen por estar construidos para instalaciones interiores o de intemperie. Pueden ser monofásicos o trifásicos, según el tipo de corriente a que se destinen.



Seccionador unipolar, para accionamiento directo por pértiga aislante. Instalación interior.

Seccionadores de apertura de cuchillas vertical

Estos seccionadores constan, en esencia, de una o varias cuchillas que giran verticalmente sobre ejes montados en las caperuzas de los aisladores soporte. Estas cuchillas encajan en unos contactos fijos también montados en las caperuzas de los aisladores soporte.

En los seccionadores trifásicos el accionamiento de las cuchillas (simultáneo para las tres fases) se efectúa por medio de tres bielas de material aislante que, además de aguantar ampliamente la tensión de prueba, deben tener una resistencia mecánica elevada. Estas bielas, enlazadas con manivelas al eje de accionamiento, giran sobre los cojinetes del bastidor. El eje de accionamiento sobresale por ambos lados del seccionador lo suficiente para poder alojar la palanca de accionamiento.

El bastidor de estos seccionadores está formado por perfiles de hierro laminado o perfiles de chapa unidos entre sí por soldadura eléctrica, con lo cual se consigue para el conjunto gran resistencia mecánica con un mínimo peso.

Reproducimos un seccionador trifásico para instalación interior. En este gráfico pueden verse los distintos elementos y su montaje.



Secionador tripolar, para instalación interior.

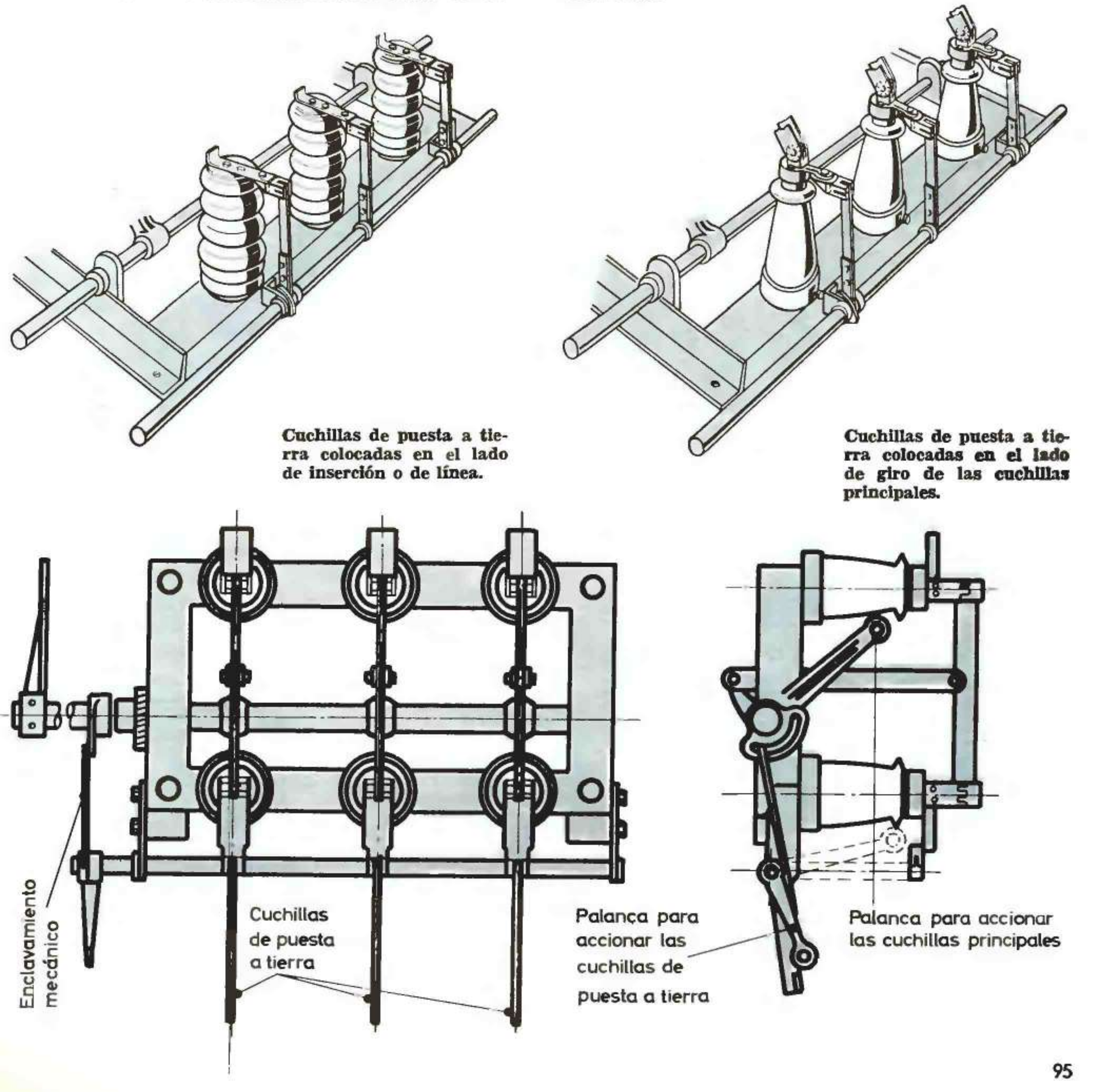
ACCESORIOS PARA SECCIONADORES

Cuchillas de puesta a tierra

Los seccionadores pueden equiparse con cuchillas de puesta a tierra. Como es sabido, antes de trabajar en una línea o aparato eléctrico de media o alta tensión es preciso asegurarse de que se ha quitado la corriente; y luego deben conectarse las tres fases en cortocircuito y ponerlas a tierra, o sea, conectarlas entre sí y a un conductor de tierra. Las cuchillas de puesta a tierra pueden colocarse en el lado de giro de las cuchillas principales o en el lado de inserción, según cuáles sean las necesidades de la instalación a que van destinados los seccionadores. La terna de cuchillas de puesta a tierra, al igual que las cuchillas principales, se acciona mediante un eje común con una palanca para pértiga aislada o palanca por estribo.

Para evitar falsas maniobras, los seccionadores equipados con cuchillas de puesta a tierra llevan un enclavamiento mecánico, que actúa de forma que en ningún caso pueda maniobrarse una terna de cuchillas sin que la otra esté abierta.

Las figuras representan detalles de las cuchillas de puesta a tierra y un seccionador equipado con ellas.



Cuchillas de puesta a tierra colocadas en el lado de inserción o de línea.

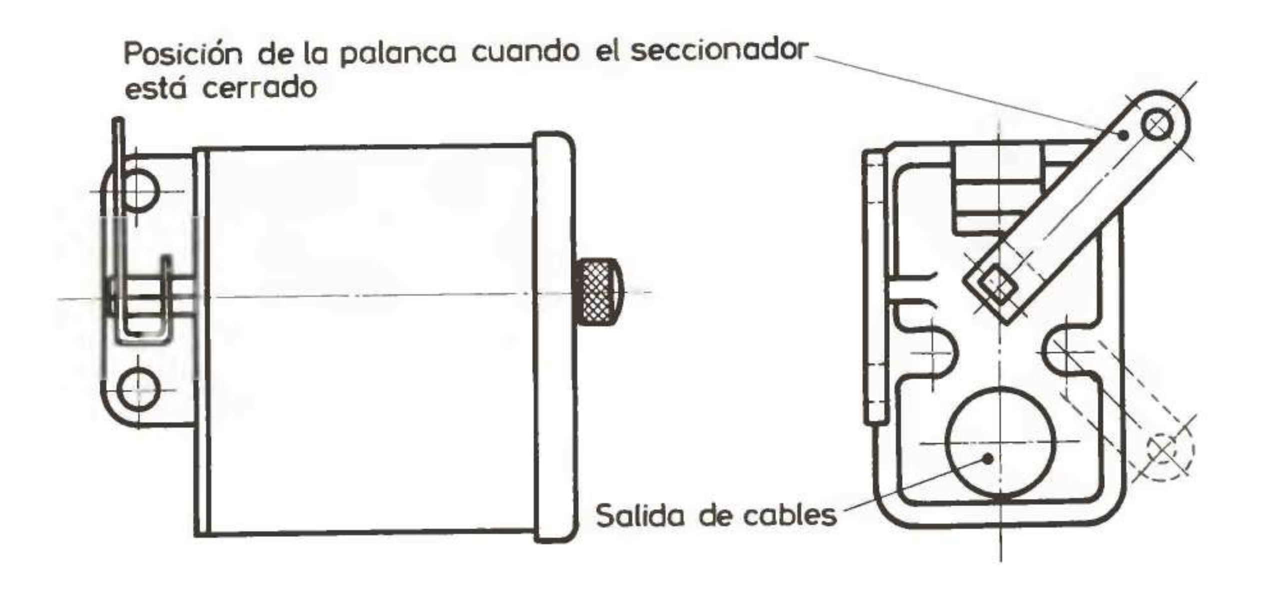
Cuchillas de puesta a tierra colocadas en el lado de giro de las cuchillas principales.

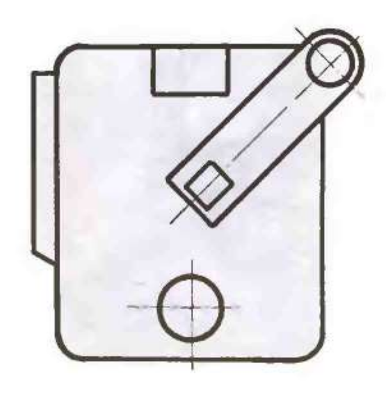
Contactos auxiliares

Los seccionadores pueden equiparse con dispositivos de contactos para circuitos de señalización o enclavamiento. Estos dispositivos consisten, esencialmente, en conmutadores (generalmente de dos posiciones) accionados por el seccionador. Los contactos tienen principalmente la misión de señalar, por medio de lámparas u otros dispositivos, la posición del seccionador.

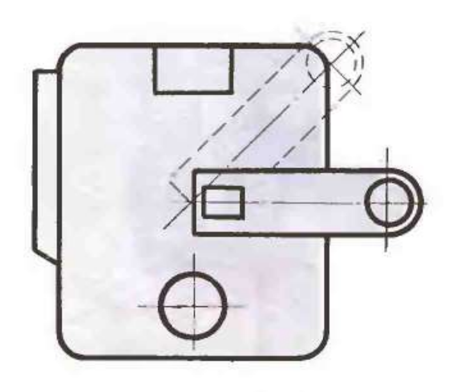


Dispositivos de contacto para circuito de señalización.

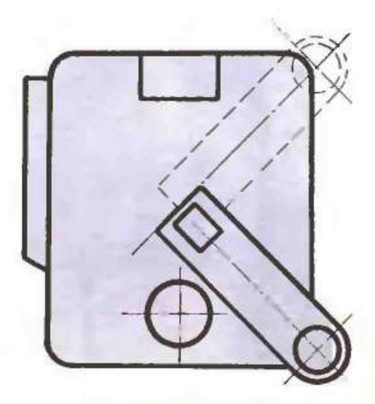




Seccionador cerrado.



Seccionador posición intermedia.



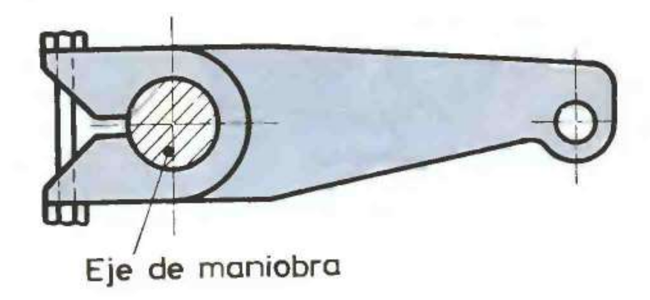
Seccionador abierto.

ACCIONAMIENTO DE LOS SECCIONADORES

Los seccionadores pueden proveerse de distintos sistemas de accionamiento, según su montaje y las necesidades de la instalación.

Los accionamientos más utilizados son:

1. Accionamiento con pértiga aislada.
2. Accionamiento a mano por palanca.
3. Accionamiento neumático, o sea, por aire comprimido.



Palauca para seccionadores maniobrados con pértiga.

Accionamiento con pértiga aisladc

Cuando se utiliza una pértiga aislada para maniobrar seccionadores, éstos deberán proveerse de una palanca fija al eje de maniobra cuyo extremo lleve un agujero de diámetro suficiente para que pueda entrar en él el gancho de la pértiga.

Las pértigas de maniobra se construyen de madera o con tubos aislantes de papel baquelizado, enchufados y solidarios entre sí. En el extremo de menor diámetro llevan un gancho, por lo general de bronce fundido, que se aplica a la anilla de los seccionadores para efectuar la maniobra de cierre o apertura.

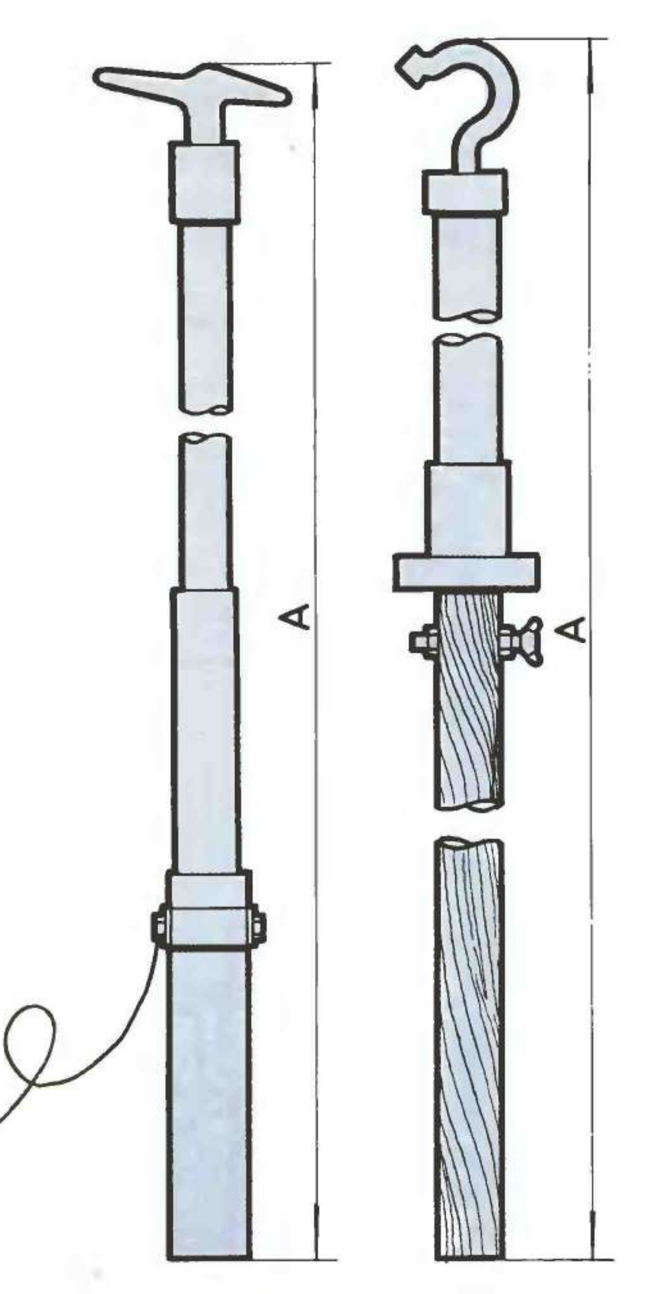
En la parte inferior, por donde se agarra la pértiga, se dispone una grapa con el cable y la mordaza para la puesta a tierra, que protege al operario de una posible descarga eléctrica.

Antes de actuar sobre el seccionador *nunca debe omitirse el poner a tierra la pértiga* mediante la mordaza. Las figuras siguientes reproducen distintos tipos de pértigas.

Accionamiento a mano por palanca

Este tipo de accionamiento es de gran aplicación por sus ventajas; su construcción es muy sencilla; puede aplicarse a todos los usos; y el espacio necesario para su montaje es muy reducido. Estos accionamientos de palanca se fabrican con empuñadura tipo estribo para una mano; con palanca terminada en **T** (o sea, doble empuñadura para dos manos), y tipo estribo lateral.

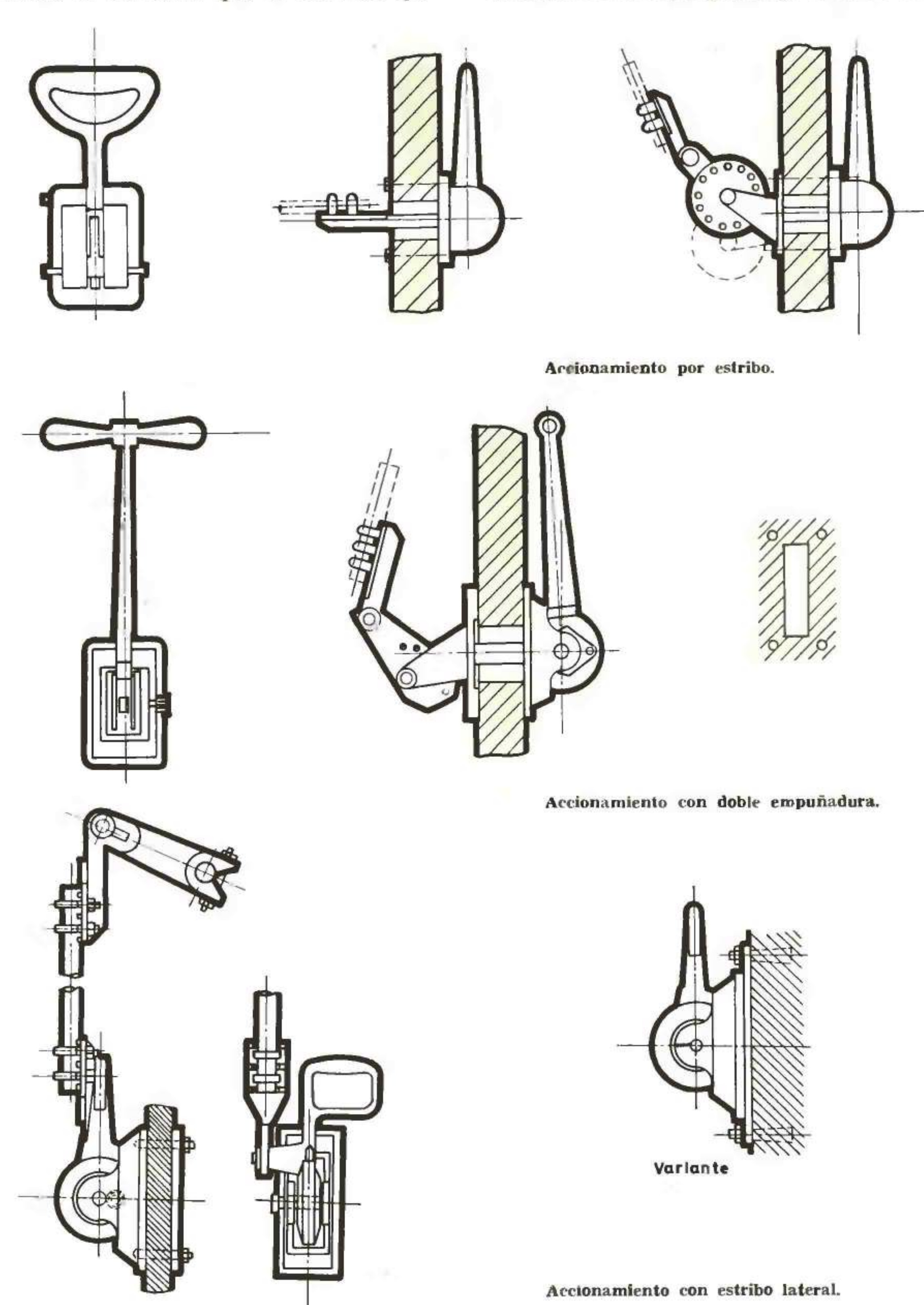
KV	A
36	2000
52	2500
72.5	3800



Pértigas para interior.

Los seccionamientos quedan asegurados en las posiciones *abierto* y *cerrado* por un bulón de enclavamiento, de tal forma que es necesario quitarlo para poder efectuar cualquier maniobra.

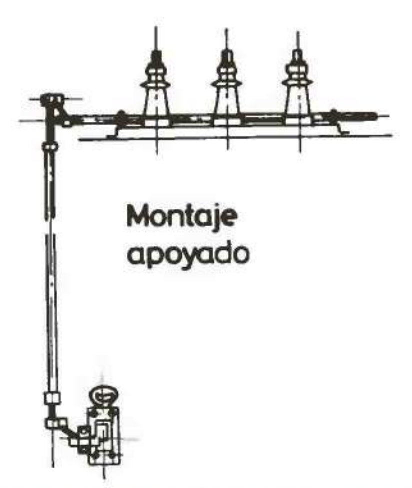
A continuación reproducimos accionamientos de distintos tipos y algunos ejemplos de montaje.

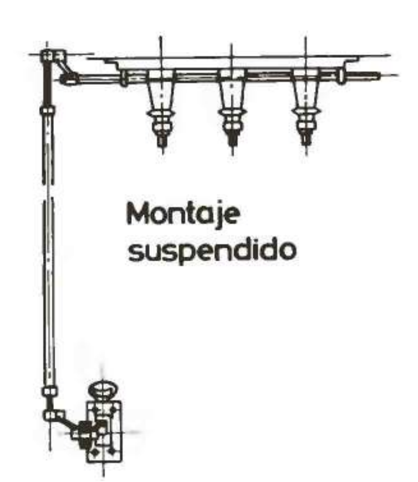


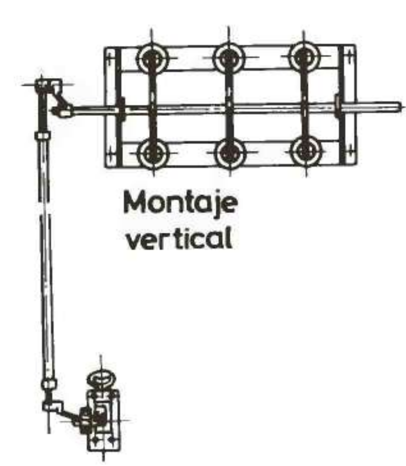
Accionamiento por estribo.

Accionamiento con doble empuñadura.

Accionamiento con estribo lateral.







Accionamiento por aire comprimido

Otro sistema para el accionamiento de seccionadores es el mando a distancia por aire comprimido. Los accionamientos neumáticos, montados convenientemente en el bastidor de los seccionadores, accionan éstos a través del control ejercido desde el cuadro de mando por medio de válvulas de maniobra, mandadas por manecilla, o mediante un electroimán accionado a su vez a distancia mediante un pulsador, relé, etc.

INFORMACION AEG

MANDOS PARA ACCIONAMIENTOS NEUMATICOS FPT DE AEG

Ei mando de los accionamientos por aire comprimido se efectúa mediante válvulas de maniobra. Constan éstas de dos válvulas en bloque común, que pueden maniobrarse a mano por medio de manecilla que acciona directamente sobre las mismas, o bien por pulsadores de mando a distancia a través de un accionamiento electromagnético con o sin enclavamiento. Las bobinas admiten como máximo un servicio breve de cinco segundos aproximadamente. Pueden colocarse indistintamente por delante o detrás del cuadro.

Se construyen los siguientes tipos en ejecución para instalación interior o intemperie:

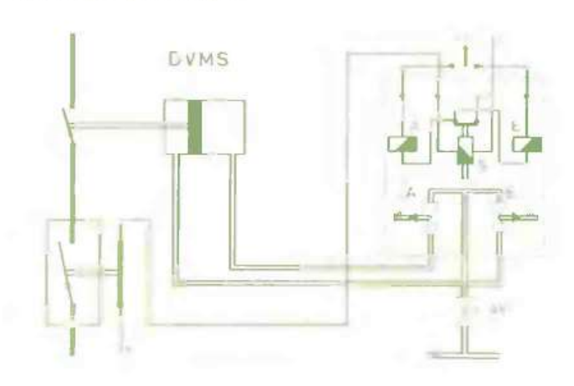
1.° Para accionamiento a mano, tipo DV.
2.° Para accionamiento a mano y enclavamiento, tipo DVS.
3.° Para accionamiento a mano y eléctrico a distancia, tipo DWM.
4.° Para accionamiento a mano, eléctrico a distancia y enclavamiento tipo DVMS.



Válvula de maniobra para instalación interior.



Válvula de maniobra para instalación intemperie.



Esquema de tuberías y conexionado para válvulas DVMS con accionamiento a mano y electromagnético; enclavamiento mecánico y desenclavamiento electromagnético.
A. Válvula y electroimán para desconexión. — E. Válvula y electroimán para conexión. — S. Electroimán de desenclavamiento. — AV. Válvula de entrada.

Los tipos de accionamiento descritos pueden ser utilizados a la intemperie, si bien el equipo varía algo. En general, únicamente se aumenta el aislamiento; para ello se intercalan aisladores de porcelana adecuados en las pértigas.

K.V.	A	B
36	3.000	
52	4000	2.050
72'5	4.500	2.050

Pértigas de madera para accionar secciona-dores a la intemperie.

Mando a distancia para exterior.

Para que pueda percatarse con mayor exactitud de las diferencias existentes entre los seccionadores para instalación interior y seccionadores para intemperie, añadimos dos ilustraciones. Advierta cómo las diferencias esenciales están en los aisladores, mucho más voluminosos en los segundos que en los primeros, como no puede por menos que ser, tratándose de seccionadores expuestos a las variaciones de la humedad atmosférica.





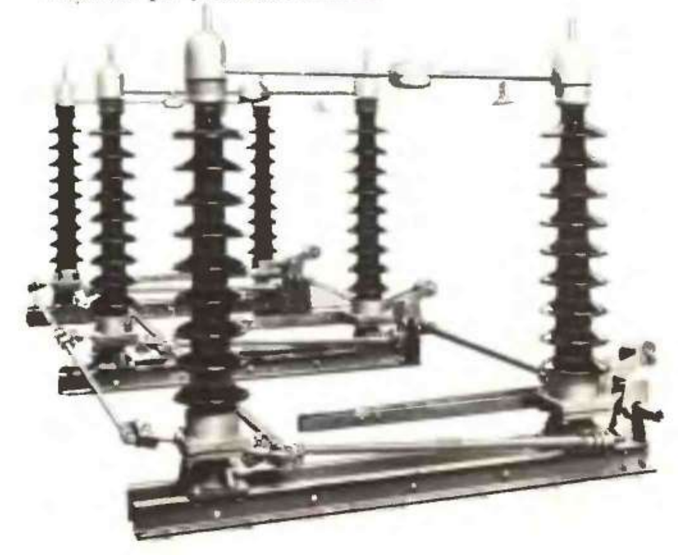
Seccionador trifásico para instalación intemperie. Obsérvese las bielas de porcelana y el mayor tamaño y profundidad de los aisladores de campana.

Seccionador trifásico para instalación interior.

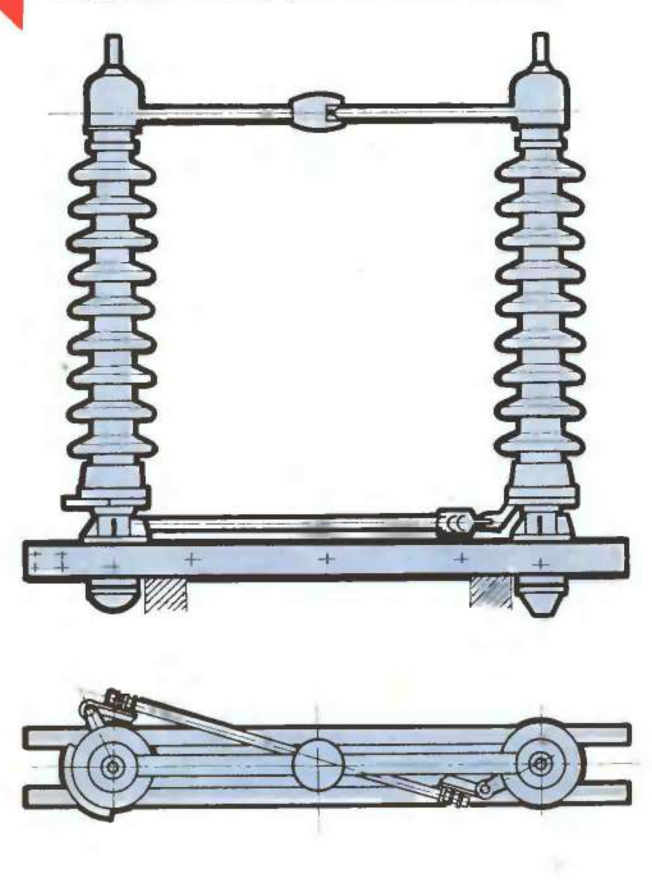
Seccionadores de cuchillas giratorias horizontales

Estos seccionadores solamente se utilizan para instalación intemperie y tensiones superiores a 36.000 V.

Constan de dos aisladores giratorios por fase. En la caperuza de cada aislador queda fijada una cuchilla, que en sus extremos llevan: una de ellas, el contacto de inserción, y la otra, el contacto de cuchilla propiamente dicho.



Seccionador de cuchillas giratorias horizontales.



Vista frontal y superior de un seccionador TROF de 100 KV, 400/600 A.

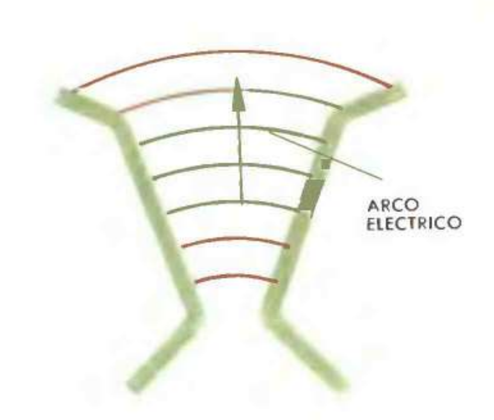
Las ventajas de estos seccionadores son:

1. Distancia entre fases más reducida; por tanto, menos superficie ocupada.
2. La maniobra se hace con gran suavidad y sin golpes, lo que representa menos esfuerzo mecánico en los aisladores.
3. Al desconectar el aparato hay un ligero movimiento giratorio en la pinza de contacto, cuyo eje de giro está situado en la misma pinza. Gracias a dicho movimiento se vence con gran facilidad la resistencia de fricción. Además, cualquier capa de hielo adherida al contacto se rompe automáticamente sin ningún esfuerzo adicional.

Los seccionadores de este género pueden equiparse con cuchillas de puesta a tierra, en cuyo caso deben ir provistos del correspondiente enclavamiento. El montaje de estos aparatos se hace, casi siempre, sobre soporte de hierro u hormigón, a unos dos metros de altura sobre el suelo. No es aconsejable el montaje con los aisladores en posición horizontal.

Seccionadores de antena

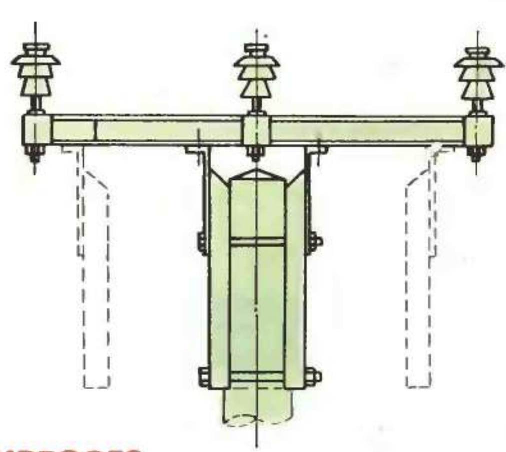
Estos seccionadores se construyen para instalación a la intemperie y para montaje sobre postes. El contacto se efectúa con cuchilla; pero además, están provistos de antenas que son las encargadas de hacer la ruptura del arco eléctrico. Su aplicación específica está en línea donde, a pesar de estar desconectada la carga, es preciso que el seccionador corte la carga debida a la capacidad de la línea. En el momento de la apertura del seccionador las antenas quedan en la posición que indica la figura. El arco eléctrico corre de dentro hacia fuera, debido al propio efecto de soplado del arco.

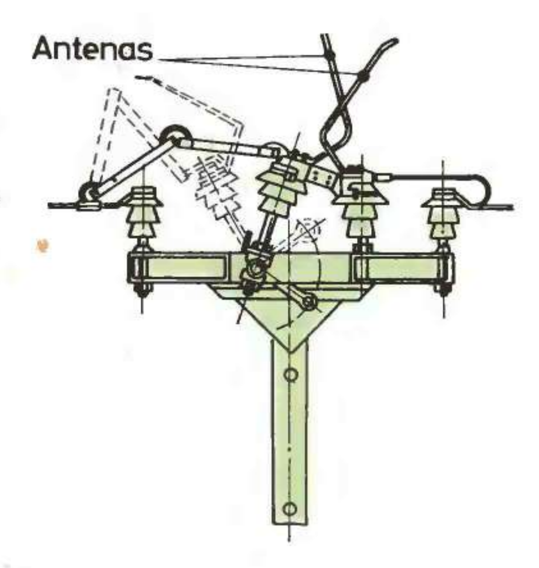


Posición de las antenas en el momento de la apertura del seccionador.



Seleccionador de antena.





INTERRUPTORES

Los interruptores pueden definirse diciendo que son dispositivos mecánicos que pueden abrir o cerrar contactos eléctricos.

Si a un interruptor se añade un relé de sobrecarga, que cuando la intensidad de la corriente exceda de un valor determinado actúe desconectándolo, tendremos un INTERRUPTOR AUTOMÁTICO O DISYUNTOR.

Según el tipo constructivo se clasifican en:
Interruptores de cuchilla.
Interruptores rotativos.
Interruptores de ruptura al aire.
Interruptores en baño de aceite.
Interruptores de pequeño volumen de aceite.
Interruptores neumáticos.
Interruptores autoneumáticos, etc.

Además, según la tensión de servicio, pueden clasificarse en:

Interruptores de baja tensión.

Interruptores de media tensión.

Interruptores de alta tensión.

Nos limitaremos a describir aquí los tipos más utilizados en los equipos de centrales eléctricas, puesto que éste es el campo de aplicación que nos hemos limitado en la presente lección.

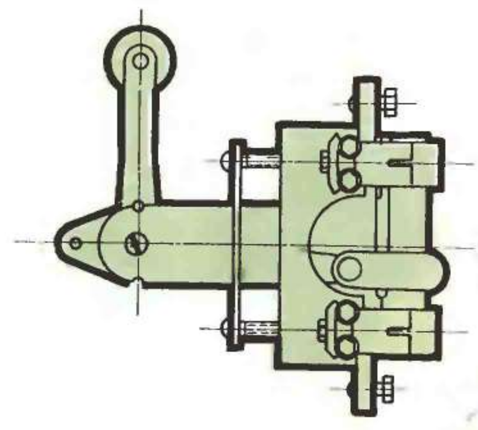
INTERRUPTORES DE BAJA TENSION

Interruptores de cuchilla

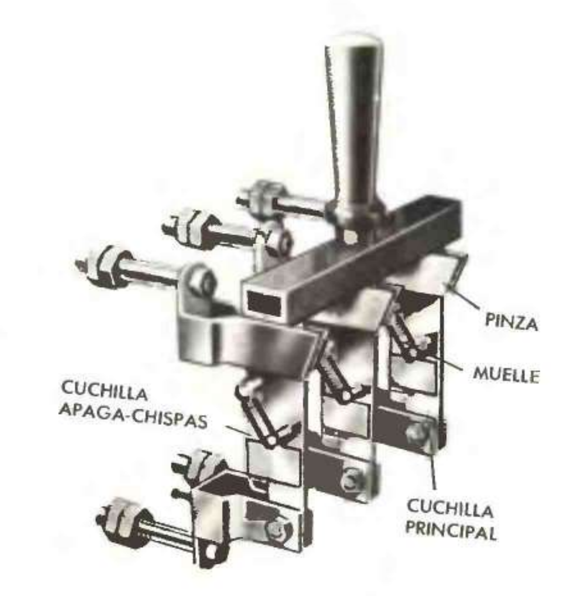
Antiguamente se utilizaban interruptores de mando manual de cuchillas, los cuales, por su robustez y poco precio, siguen gozando de gran aceptación.

Estos interruptores constan esencialmente de una o varias palancas o cuchillas (en número que depende del número de fases), generalmente construidas con cobre electrolítico o latón, las cuales se mueven por medio de una palanca hasta entrar en unas pinzas sobre la que cierran el circuito. Para evitar el excesivo desgaste de la cuchilla y asegurar una apertura brusca e independiente de la rapidez con que se maniobre la palanca, se añade a la cuchilla principal otra cuchilla más pequeña (apagachispas) unida a la primera por dos muelles. Al abrir el interruptor la cuchilla apagachispas queda aprisionada en la pinza, hasta que el esfuerzo de los muelles la arranca de esta posición.

Hoy en día se construyen interruptores de cuchilla con mando frontal, situado en la parte anterior del cuadro; el interruptor está colocado detrás de éste. Vea un par de interruptores de este tipo.



Interruptores de palanca. El interruptor propiamente dicho queda situado detrás del panel.





Interruptores de palanca y ruptura brusca, para montar sobre placa de pizarra barnizada.



Interruptores rotativos

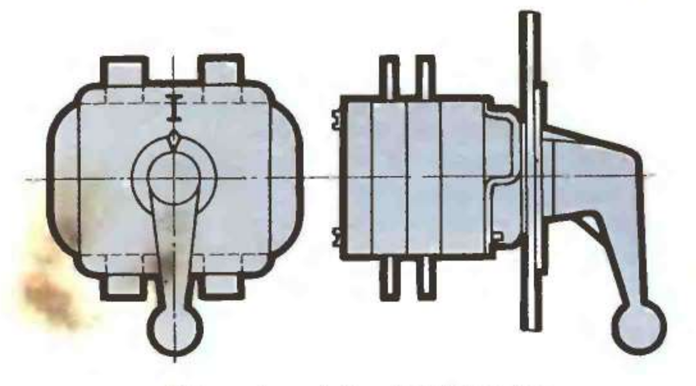
Debido a la doble necesidad sentida en los puestos de distribución, con relación a sus elevadas potencias y espacios reducidos, aparecieron los interruptores rotativos destinados a controlar grandes potencias ocupando el mínimo de espacio.

Los contactos, en estos interruptores, se realizan mediante levas que aseguran posiciones fijas de los mismos.

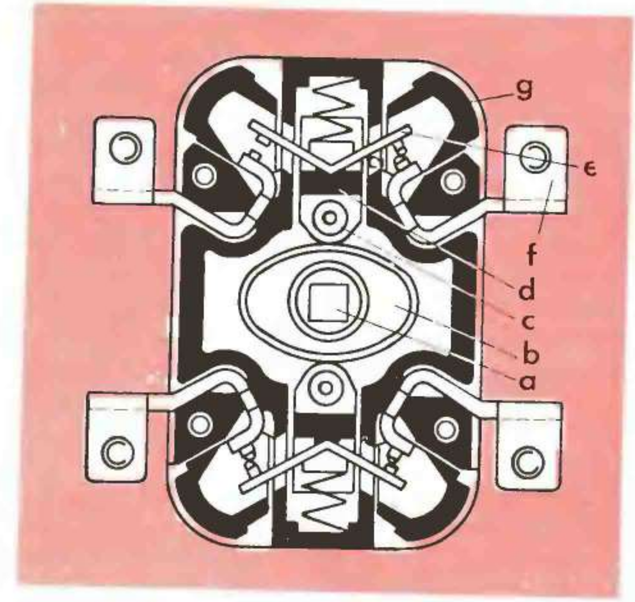
Escogemos como ejemplo un interruptor tipo Isodel-Sprecher.

En este interruptor el movimiento de la manivela se transmite a una leva plana (*b*) mediante un árbol de sección cuadrada (*a*). Esta leva arrastra, por presión sobre los rodillos (*c*), los soportes de contacto (*d*), a los que están unidos los puentes (*e*) con los contactos móviles. Los contactos fijos están soldados a soportes de cobre niquelado, ampliamente dimensionados (*f*), que salen de la caja aislante y que, provistos de bridas de apriete, forman los bornes de conexión. Los contactos fijos y móviles son de plata, por lo que su resistencia de contacto es insignificante. El corte del arco tiene lugar en las cámaras de extinción, de material cerámico (*g*), fácilmente desmontables para hacer factible una cómoda revisión de los contactos.

En estos interruptores se aumenta el número de circuitos añadiendo elementos superpuestos; es decir, montados unos sobre otros.



Interruptor rotativo Isodel-Sprecher.



INTERRUPTORES PARA ALTA TENSION

Interruptores automáticos en baño de aceite

En la actualidad para alta y media tensión se utilizan exclusivamente interruptores automáticos o disyuntores. Estos interruptores efectúan las conexiones y desconexiones con los contactos sumergidos en aceite de transformador. Los modernos tipos empleados están provistos de contactos de doble ruptura; por lo general se equipan con relés de sobreintensidad (directos o secundarios) y con relés de mínima tensión o de tensión nula. La figura representa un interruptor automático en baño de aceite construido por la casa Oerlikon.

Según la intensidad de la corriente, estos interruptores se equipan con distintos tipos de contactos, francamente complicados. Las grandes tensiones que deben soportar exigen condiciones de trabajo sólo obtenibles con accesorios diseñados exprofeso. Las fotografías que siguen, entresacadas de los catálogos Oerlikon, dan idea de la complejidad de estos contactos.



Interruptor Oerlikon en baño de aceite, tipo E33, para montaje interior.



Dispositivo de contacto, con dedos de contacto fijos y puente de contacto móvil.



Dispositivo de contacto, con cámaras de extinción para interruptores de alta potencia.



Dispositivo de contacto para grandes intensidades, con contactos principales de muelles y dedos de contacto como contactos apagachispas.

El mecanismo de maniobra, muy sencillo, se acciona directamente por medio de potentes muelles de disparo. De esta forma se asegura una conexión y desconexión brusca, así como un tiempo de disparo muy corto.

La cuba es de chapa de acero soldada. En su parte inferior lleva un tapón de vaciado, con un orificio regulable para la toma de muestras del aceite, que debe analizarse a intervalos regulares.

Para la revisión de los contactos es preciso separar la cuba; con este fin los interruptores están provistos de un mecanismo de manivela o trinquete.

Estos interruptores pueden accionarse a mano, por motor, por electroimán o por aire comprimido.



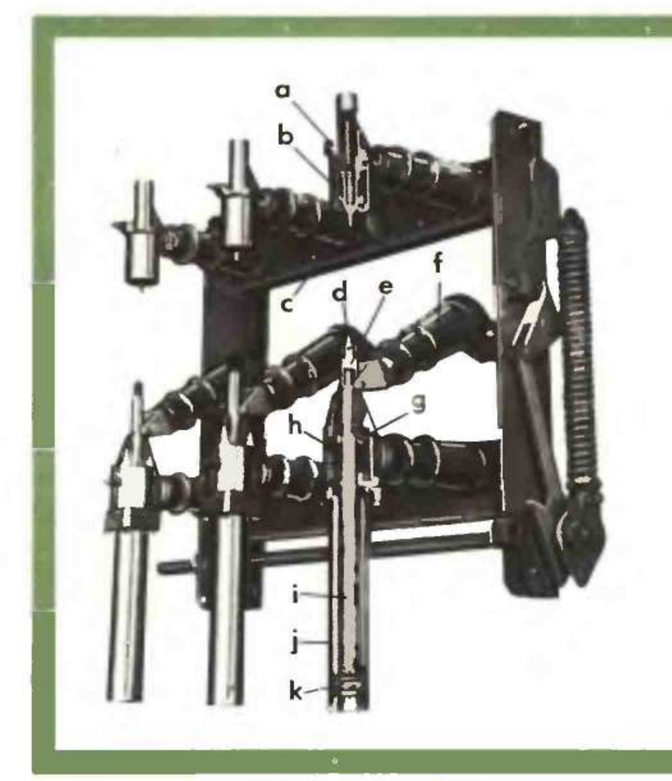
Cuba redonda de chapa de acero soldada.



Mecanismo amovible para bajar la cuba, montado en la tapa del interruptor

interruptor autoneumático Isodel-Sprecher

Añadimos una somera información sobre un interruptor especialmente interesante, que puede considerarse prototipo dentro de la familia de los interruptores neumáticos. Se trata del interruptor tipo R Isodel-Sprecher. El modelo que reproducimos, con la información de catálogo, está calculado para 200 A.



Interruptor auto-neumático, ISODEL-SPRECHER

Cada polo lleva dos aisladores fijos que soportan: uno, la borna de entrada (a), los contactos fijos (b) y su parachispas (c) compensado por un resorte; el otro, la borna de salida (h), los contactos fijos (g) y un cilindro (j) donde se efectúa la autocompresión del aire.
Un aislador-biela (f) acciona el tubo de contacto (i); éste lleva en un extremo la tobera de soplado (d) y el parachispas móvil (e), y en el otro extremo un pistón (k) que se desliza en el cilindro fijo.
En el desenganche, el desplazamiento de la parte móvil provoca en el cilindro la compresión del aire, que se escapa a través del tubo de contacto soplando el arco formado entre los dos parachispas.
Los tres polos van montados en un bastidor metálico rígido. Los aisladores-biela calados en el mismo árbol son accionados bruscamente a la apertura por un mecanismo de resorte por paso del punto muerto.
En este campo del corte en carga se obtienen las cualidades esenciales ambicionadas por los usuarios:
En el aspecto eléctrico: seguridad completa.
En el aspecto práctico: gran facilidad de explotación.

Disyuntores de pequeño volumen de aceite

El gran incremento que ha experimentado el consumo de energía eléctrica ha forzado un aumento incesante de su producción. En consecuencia, las instalaciones de transporte y distribución deben responder a exigencias cada vez más severas, de las que los disyuntores participan especialmente. No solamente deben abrir y cerrar los circuitos *en servicio normal*, sino, sobre todo, aislar los sectores de la red en que se produzca alguna perturbación, al objeto de que ésta no perjudique las máquinas o la instalación misma.

La misión de los disyuntores, como su nombre indica, es cortar y, por tanto, extinguir el arco formado entre sus contactos a la apertura de éstos, utilizando aceite o aire comprimido como agente extintor.

Se ha utilizado mucho el disyuntor de *gran volumen de aceite*, contenido en una cuba resistente a las sobrepresiones creadas por el arco. Resulta de grandes dimensiones y elevado precio, aparte del peligro que representa en caso de explosión.

También se emplea el disyuntor neumático, que utiliza un chorro de aire a presión para extinguir el arco; pero es de mantenimiento minucioso y constante y requiere costosas instalaciones auxiliares.

A continuación reproducimos los cortes de la parte activa de los disyuntores de pequeño volumen de aceite, que son los más utilizados.

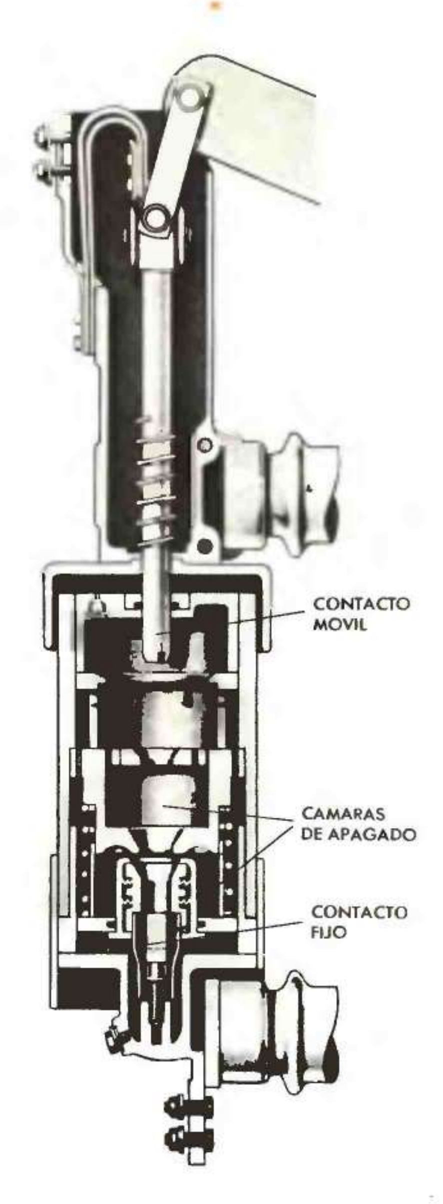
Interruptor AEG tipo F

Vea el polo de este disyuntor.

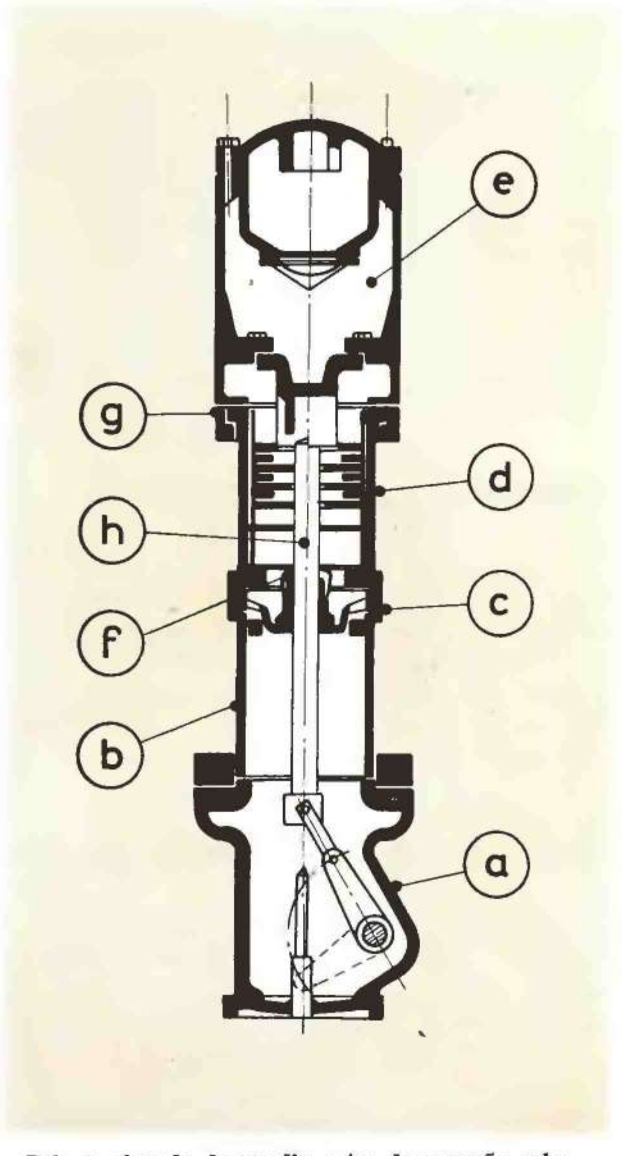
Corresponde a un interruptor de alta potencia de ruptura. Está equipado con un pistón diferencial, el cual en posición *cerrado* está montado en las cámaras de extinción del arco.

Una vez desconectado el disyuntor, el contacto móvil queda fuera del aceite. Por tanto, la calidad de éste no influye en el funcionamiento del aparato, ya que el aceite no actúa como aislante, sino exclusivamente como sustancia extintora.

Gracias a la sobrepresión producida por la vaporización del aceite en el momento de la desconexión (el calor desprendido por el arco vaporiza



Vista en sección del polo de un disyuntor AEG.



Polo seccionado de un disyuntor de pequeño volumen de aceite Isodel-Sprecher tipo HG.

el aceite), el pistón está impulsado hacia arriba y arrastra un chorro de aceite fresco que se dirige hacia el arco, con lo cual se consigue su apagado inmediato.

Disyuntor Isodel-Sprecher tipo HG

Cada polo constituye una cámara de aceite esencialmente formada por los siguientes elementos:

a) Mecanismo —alojado en un cárter de acero fundido— que recibe la acción del mando y la transmite a la varilla de contacto móvil por medio de una biela aislante. En la parte inferior del cárter está el tapón de vaciado.

b) Cuerpo inferior constituido por un cilindro de araldita armada. Aísla la parte activa de la masa.

c) Collar intermedio de fundición ligera. Soporta los contactos guías de la varilla de conexión y la borna de salida.

d) El cuerpo superior constituye la cámara de corte. Está formado por un cilindro exterior de araldita armada, de elevada resistencia mecánica, con discos aislantes que forman en su interior varias cámaras superpuestas donde el aceite vaporizado ex-

tingue el arco por un soplado axial y transversal.

e) La cabeza, también de fundición ligera, lleva la borna de entrada, el nivel de aceite, el tapón de llenado y, en su interior, el contacto fijo.

Finalmente, tiene un potente resorte helicoidal, sujeto entre el chasis y la manivela de ataque del mecanismo, que asegura el desenganche del aparato.

Disyuntor AEG, de pequeño volumen de aceite.





FUSIBLES O CORTACIRCUITOS

Identificamos un fusible como el aparato destinado a aislar parte de un circuito, por fusión de un hilo o placa conductores, cuando en dicho circuito se produce una sobretensión excesiva.

Nada diremos sobre fusibles para bajas tensiones, por considerar que se trata de un tema conocido y que, por definición, no atañe el contenido de una lección como ésta.

En cambio, vamos a tratar los fusibles de mayor aplicación en circuitos de gran potencia. Son los llamados FUSIBLES DE ALTO PODER DE RUPTURA. Los más representativos son:

FUSIBLES DE ALTO PODER DE RUPTURA SIEMENS TIPO NH

Las bases de los cortacircuitos NH tienen un zócalo de esteatita, sobre el que están atornillados los contactos en forma de lira (por similitud con este antiguo instrumento musical).

La alta presión existente entre los contactos y las cuchillas perfiladas de los cartuchos fusibles garantiza un contacto perfecto, incluso bajo carga permanente.

Las fotografías reproducen una base tripolar y otra monopolar.



Base tripolar con cartuchos fusibles NH



Base monopolar con cartucho fusible NH.

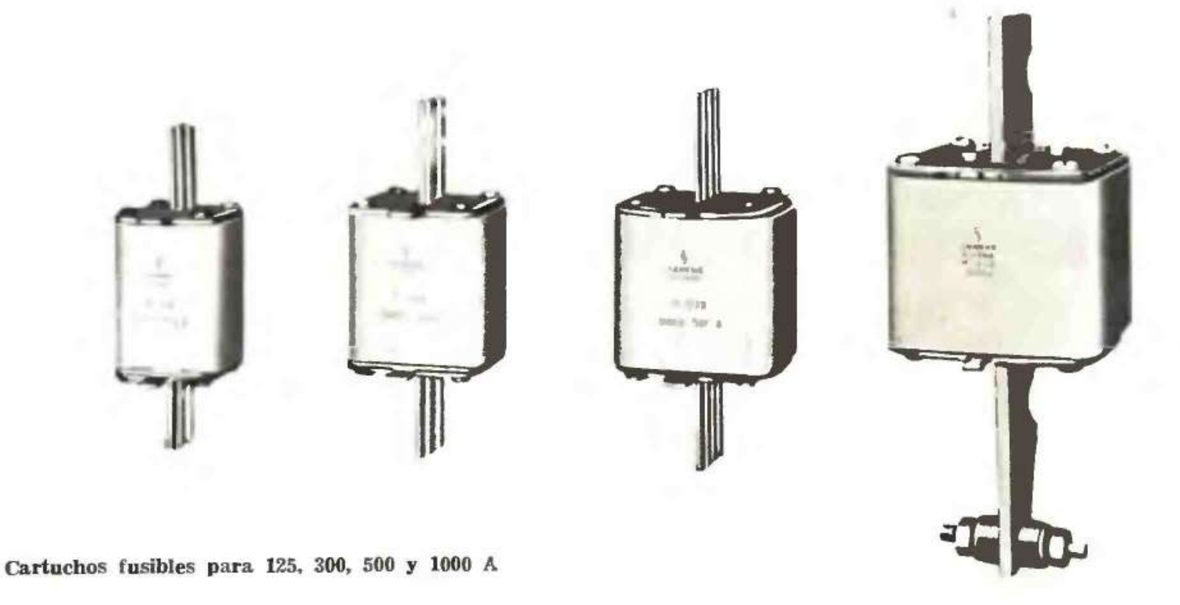
Los cartuchos fusibles NH constan de las partes siguientes:

1. Los conductores fusibles, con las dos placas de cierre y las cuchillas de contacto.
2. El cuerpo de esteatita dentro del cual se efectúa la fusión.
3. El dispositivo indicador.
4. Cada conductor fusible está provisto de *pasadera de ignición* y *puente de fusión.*

Las siguientes figuras muestran las distintas partes de un cartucho fusible NH y los distintos tipos.



Cuerpo de esteatita y conductores fusibles.



Cartuchos fusibles para 125, 300, 500 y 1000 A

La pasadera de ignición une entre sí (muy cerca del sitio previsto para la fusión en caso de cortocircuito) los diferentes conductores parciales, determinando que todos éstos participen uniformemente en el proceso de desconexión. De este modo se obtienen tiempos de fusión cortos y uniformes (de importancia para una buena selectividad), así como un poder de ruptura especialmente elevado.

El puente de fusión asume la desconexión en la zona de las sobreintensidades límites. Se encuentra en el centro del cartucho, y por consiguiente en el punto de mayor calentamiento. Esta disposición permite usar un material cuya temperatura de fusión es mucho más elevada que la temperatura del ambiente, con lo cual se logra un funcionamiento casi independiente de las oscilaciones de temperatura. Además, sólo se origina un calentamiento muy reducido del cartucho en el servicio, llegando, según el tipo, a temperaturas entre 10° C y 60° C, con la intensidad nominal.

Los conductores fusibles están rodeados de arenilla extintora.

Las cuchillas de contacto están unidas por soldadura de puntos a los conductores fusibles, con lo que se establece una vía de corriente sin uniones por tornillos. De esta forma se eliminan todas las averías que pueden producirse a causa de contactos inseguros en uniones roscadas o a presión.

Las superficies de contacto, tanto en los cartuchos como en las bases, están fuertemente plateadas.

En la placa superior de cierre se encaja un botón rojo de aviso, dispositivo indicador que acusa el estado de servicio del cartucho fusible. Cuando se funde, el botón sobresale de la superficie de la placa.

Cada tipo de cartucho tiene un poder de ruptura determinado; es decir, que para cada cartucho fusible hay un valor máximo admisible de la intensidad de cortocircuito en el punto de instalación en que actúa, que todavía puede ser dominado por el cartucho fusible en la desconexión. Los fabricantes facilitan al comprador los datos técnicos referentes a los diversos tipos de fusibles.

En corriente alterna se indica la intensidad de cortocircuito con el valor efectivo de la corriente alterna admisible al iniciarse el cortocircuito (corriente alterna de cortocircuito de choque). Este valor I_{ch} en el punto de la instalación considerado se calcula, al planear la instalación, por medio de la fórmula:

$$I_{ch} = \frac{V}{Z} = \frac{\text{Tensión de servicio}}{\text{Impedancia del circuito en cortocircuito}}$$

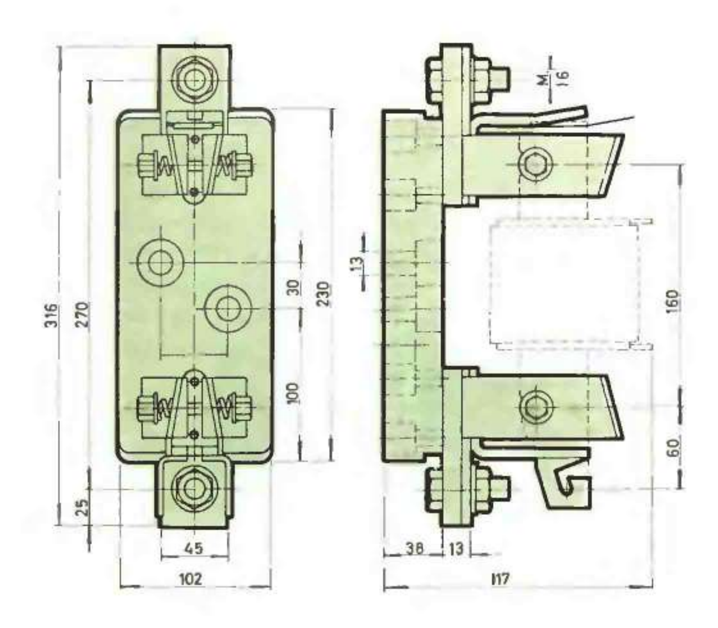
Estos cartuchos fusibles pueden colocarse y quitar cómodamente con unas empuñaduras de material aislante. Un bloqueo mecánico impide que el cartucho fusible pueda desprenderse de la empuñadura. Al pulsar el botón que lleva dicha empuñadura el cartucho queda libre.

Incluimos el plano de conjunto de un cartucho fusible Siemens y un plano de su base, con anotación de sus cotas, a fin de proporcionarle una clara idea de las dimensiones de estos aparatos.

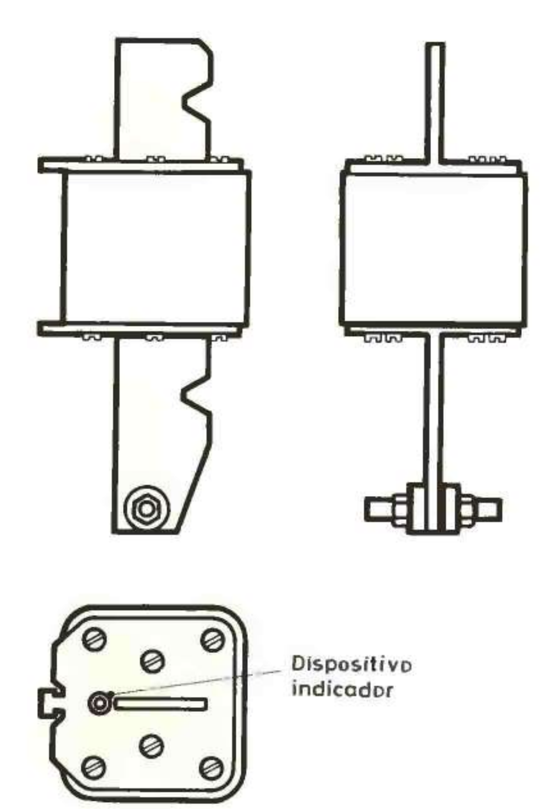


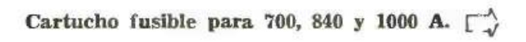


Dos tipos de empuñadura para cartucho fusible.



Base Siemens para cartucho de hasta 1000 A.





Cartucho fusible para 700, 840 y 1000 A.

Botón de desbloqueo

Cortacircuito de 1000 A, con empuñadura de palanca.

CORTACIRCUITOS DE ALTO PODER DE RUPTURA TIPO SN DE ISODEL-SPRECHER

Los elementos fundamentales de que se componen estos cortacircuitos son la base y el cartucho.

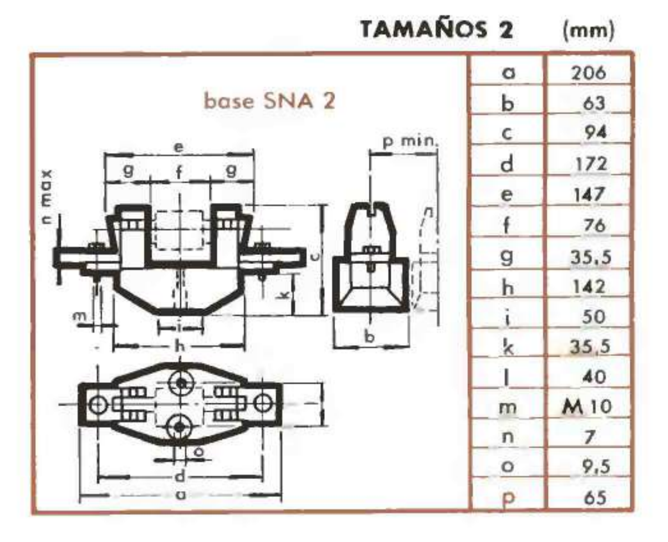
Se fabrican bases de tres tamaños:

Base tamaño 2 (hasta 250 A)

La base de tamaño 2 se compone de un zócalo de esteatita esmaltada sobre el cual se han fijado los contactos. El sistema de fijación se vale de tornillos; los contactos son de resorte.

Vea el croquis con las dimensiones de la base tamaño 2.

Cada contacto de la base está formado por seis láminas plateadas,

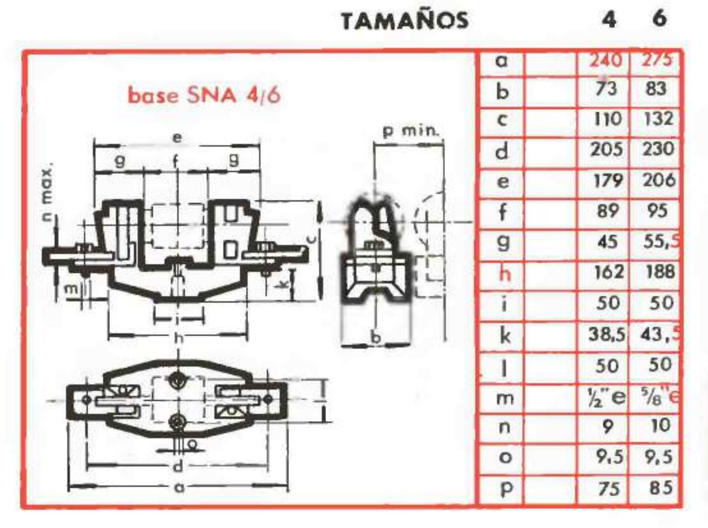


TAMAÑOS 2 (mm)

a	206
b	63
c	94
d	172
e	147
f	76
g	35,5
h	142
i	50
k	35,5
l	40
m	M 10
n	7
o	9,5
p	65

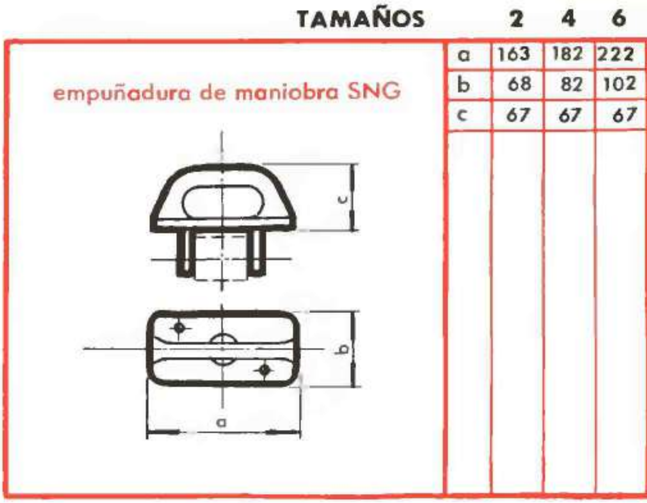
Bases tamaño 4 (400 A) y tamaño 6 (600 A)

Estas bases tienen contactos de apriete en lugar de resortes (vea las figuras), apriete que se regula por medio de tornillos accesibles por la parte frontal. Se accionan con una llave aislante especial. No obstante, además del sistema de apriete tienen resortes individuales que garantizan un contacto suficiente para que pase toda la intensidad nominal durante algunos minutos, aunque los tornillos estén flojos. Esta particularidad resulta útil en el caso de la sustitución de un cartucho en servicio.



TAMAÑOS	4	6
a	240	275
b	73	83
c	110	132
d	205	230
e	179	206
f	89	95
g	45	55,5
h	162	188
i	50	50
k	38,5	43,5
l	50	50
m	½"e	5/8"e
n	9	10
o	9,5	9,5
p	75	85

Croquis con dimensiones de las bases tamaño 4 y 6.



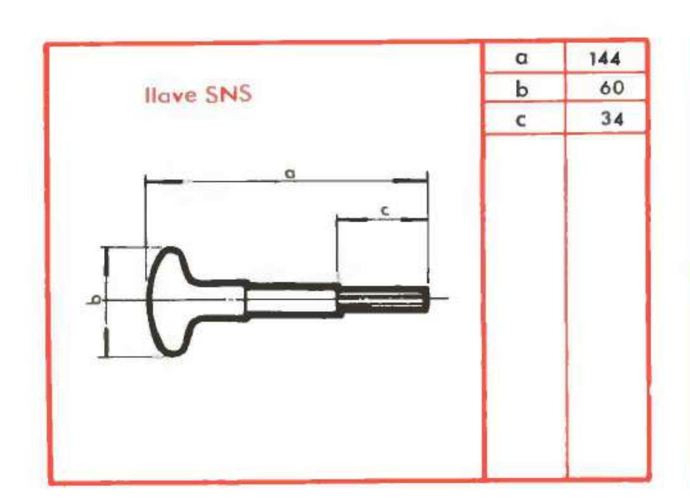
TAMAÑOS	2	4	6
a	163	182	222
b	68	82	102
c	67	67	67

Croquis y dimensiones de la empuñadura de maniobra.



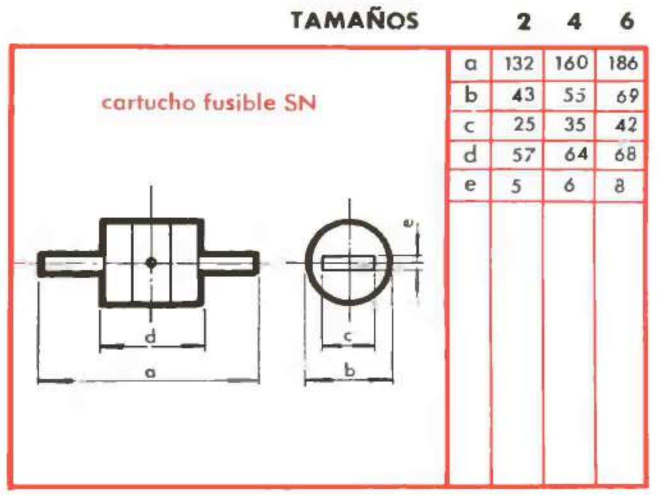
Tamaño 2 Tamaño 4 Tamaño 6

Figura donde puede comparar los tres tamaños de fusibles Isodel-Sprecher.



a	144
b	60
c	34

Croquis con dimensiones de la llave aislada.



TAMAÑOS	2	4	6
a	132	160	186
b	43	55	69
c	25	35	42
d	57	64	68
e	5	6	8

Croquis con dimensiones del cartucho fusible.

CORTACIRCUITOS DE ALTO PODER DE RUPTURA HAZEMEYER-METRON

EL ZÓCALO. Está formado por una base de acero perfilado, con orificios de fijación; dos aisladores moldeados de material aislante especial y dos pinzas de contacto de alta presión, asegurada por resortes de acero. Se construyen en dos ejecuciones: conexión anterior y conexión posterior. La figura representa los dos tipos de base.

CARTUCHO. Los cartuchos fusibles están formados por un cuerpo tubular moldeado de material aislante especial, resistente al calor, a la presión y a las corrientes de fuga.

Este cilindro está obturado en sus extremos por placas metálicas, formando así una cámara de extinción. En esta cámara se encuentra la lámina fusible, de plata pura, con los complementos necesarios que le confieren sus características de retardo y rapidez de corte sin sobretensiones peligrosas. Dicha cámara se llena con la sustancia extintora del arco.

El cierre de las placas metálicas está precintado para garantizar su capacidad de ruptura.

Las cuchillas de contacto se fijan sobre las placas de cierre y están en directo contacto con la lámina fusible.

Dos muñones salientes en el cuerpo del fusible permiten manejarlo (aun con tensión) mediante una empuñadura aislante, común a todos los fusibles Hazemeyer de alto poder de ruptura.

Todos los cartuchos están provistos de indicador de fusión.

Estos cartuchos fusibles pueden ser cambiados por el usuario, utilizando los recambios preparados que suministra la fábrica.

Vea cómo es un recambio de cartucho fusible.



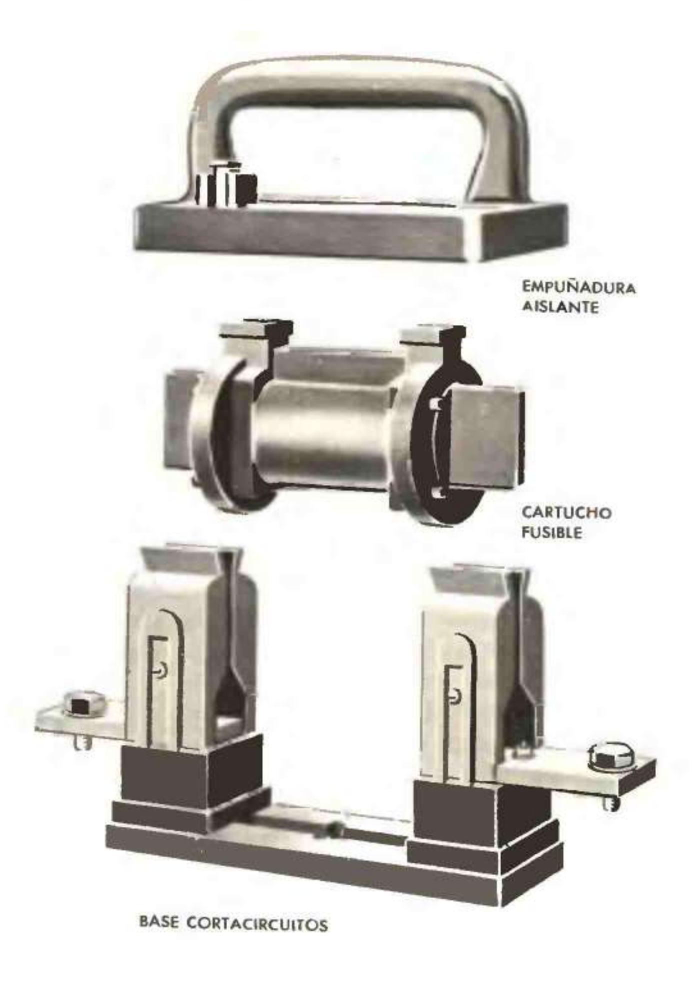
TIPO 12

Conexión anterior.



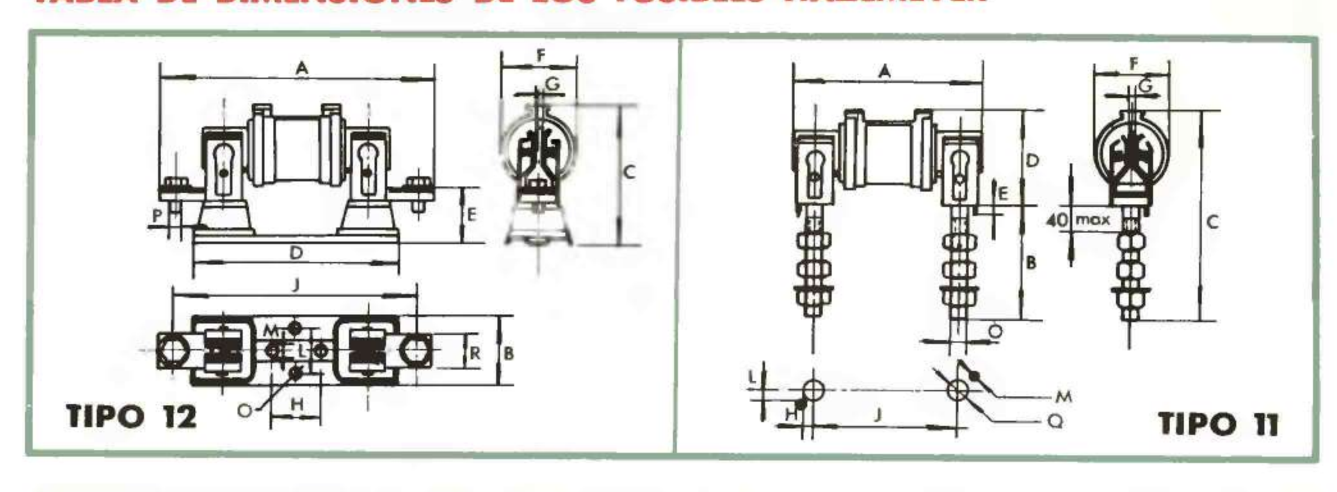
TIPO 11

Conexión posterior.



Elementos de que consta un fusible Hazemeyer.

TABLA DE DIMENSIONES DE LOS FUSIBLES HAZEMEYER



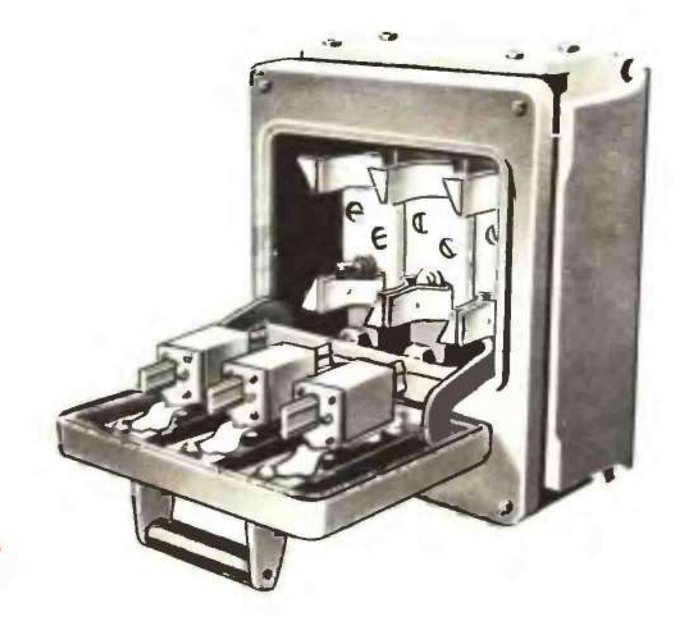
Intensidad A	Zócalo tipo	Cartucho tipo	DIMENSIONES en mm															Kg
			A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	O	P	R	
100	12 c	92 c	211	57	112	170	42	56	4	60	191	70	35	6,5	9	5/16"	20	1,1
200	12 d	92 d	225	57	128	170	43	66	5	60	200	85	35	6,5	9	3/8"	25	1,6
350	12 e	92 e	284	76	143	222	49	80	6	72	254	100	50	8,5	11	1/2"	30	2,9
600	12 f	92 f	315	76	173	222	53	102	8	72	275	120	50	8,5	11	5/8"	40	5
1000	12 g	92 g	415	106	178	354	58	102	2x5	84	360	125	60	9	9	3/4"	50	8
100	11 c	92 c	145	82	160	78	4	56	4	7	115	70	7	3	3/8"			0,9
200	11 d	92 d	155	90	184	94	4	66	5	9	120	85	9	3	1/2"			1,6
350	11 e	92 e	180	100	204	104	4	80	6	13	135	100	11	4	5 8"			2,7
600	11 f	92 f	215	115	249	134	5	102	8	21	155	120	16	4	7/8"			5,7

K = distancia entre ejes de zócalos tipo 12 y 11

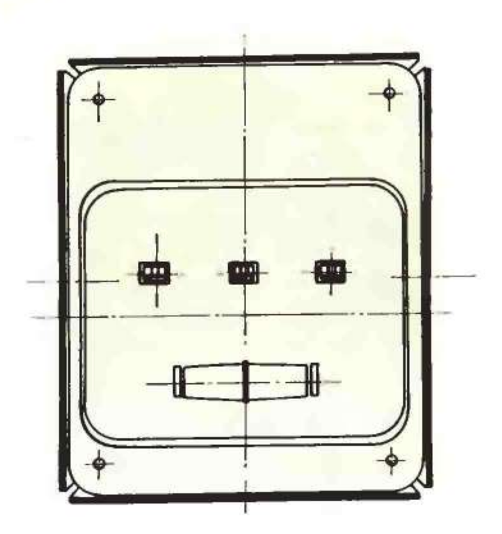
DESCONECTADORES FUSIBLES

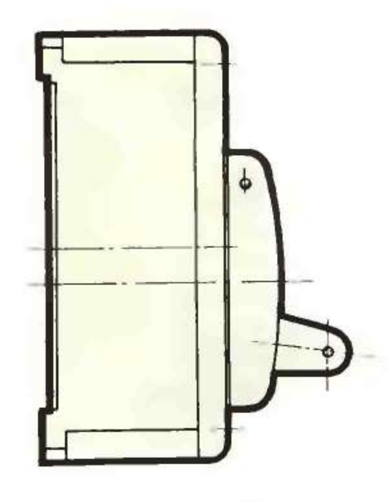
Los desconectadores fusibles son una combinación de desconectador tripolar y fusibles. Se presentan en forma de una caja con un bastidor interior donde están montadas las bases de los cortacircuitos; en la tapa se insertan los tres cartuchos fusibles sobre soportes de material aislante. Tres mirillas de la tapa permiten examinar el indicador de fusión de cada cartucho sin necesidad de desconectarlos.

A continuación reproducimos el desconectador fusible Siemens.



Desconectador fusible en caja de fundición tipo USPR 1254 III 200 A.





Desconectador fusible en caja de fundición.

CORTACIRCUITOS DE GRAN PODER DE RUPTURA PARA ALTA TENSION

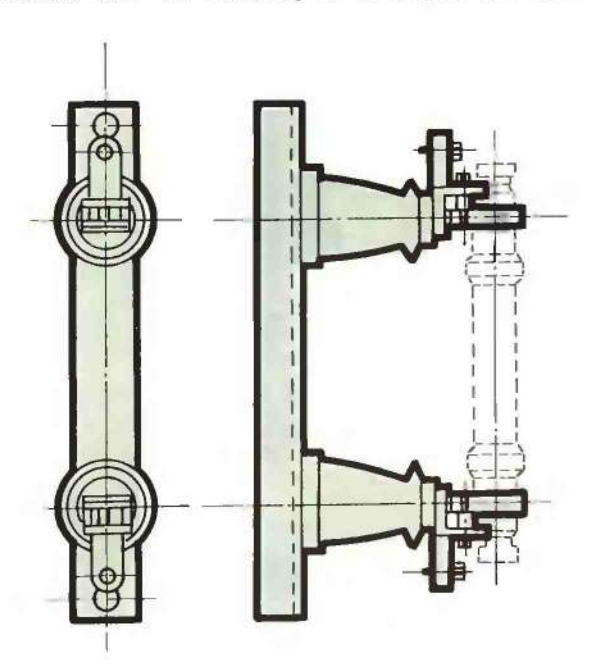
Su principio es esencialmente el mismo que para baja tensión; como es lógico, el aislamiento será más elevado. Por tanto, su tamaño aumenta con la tensión.

DESCRIPCION DEL CORTACIRCUITOS GARDY PARA A.T.

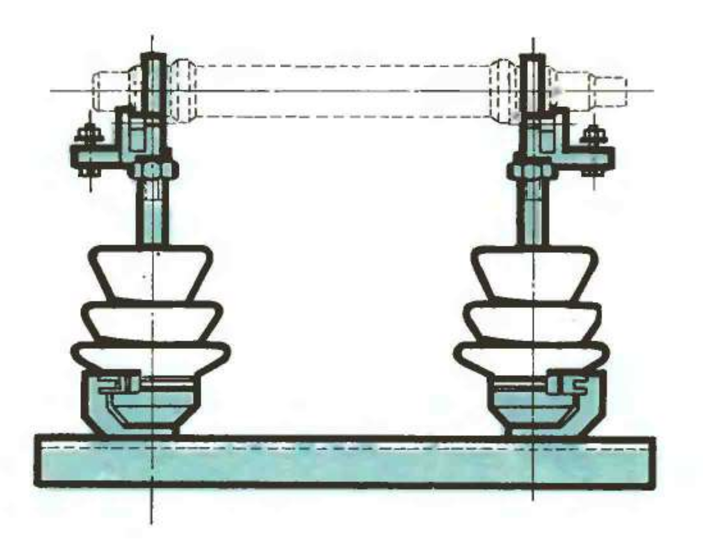
BASE. Está formada por dos pinzas montadas en las caperuzas metálicas de dos aisladores soporte, fijos a su vez sobre un zócalo de hierro formado por un perfil laminado en ⊏ . La figura representa las distintas bases para montaje interior y exterior.

CARTUCHO GARDY. El cartucho de alta tensión se compone de un cuerpo cilíndrico de material aislante, cerrado en sus extremos por sendos casquillos metálicos que sirven de tomas de corriente. La distancia entre los casquillos metálicos aumenta con la tensión; el diámetro del cuer-

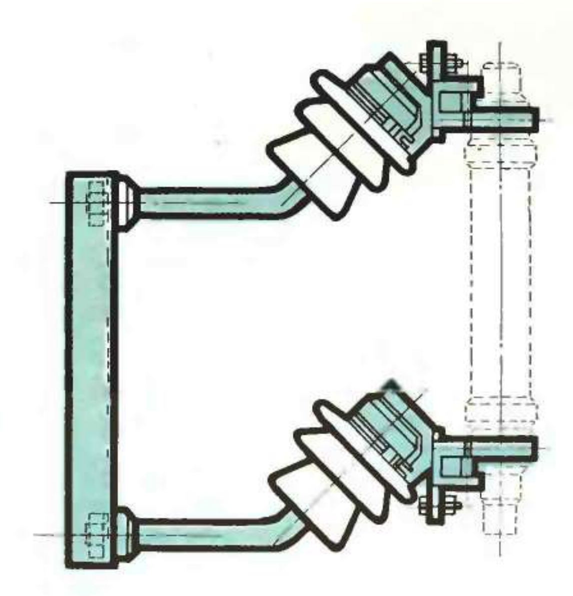




Base del cortacircuito Gardy para montaje interior.



Bases de cortacircuitos Gardy para montaje exterior



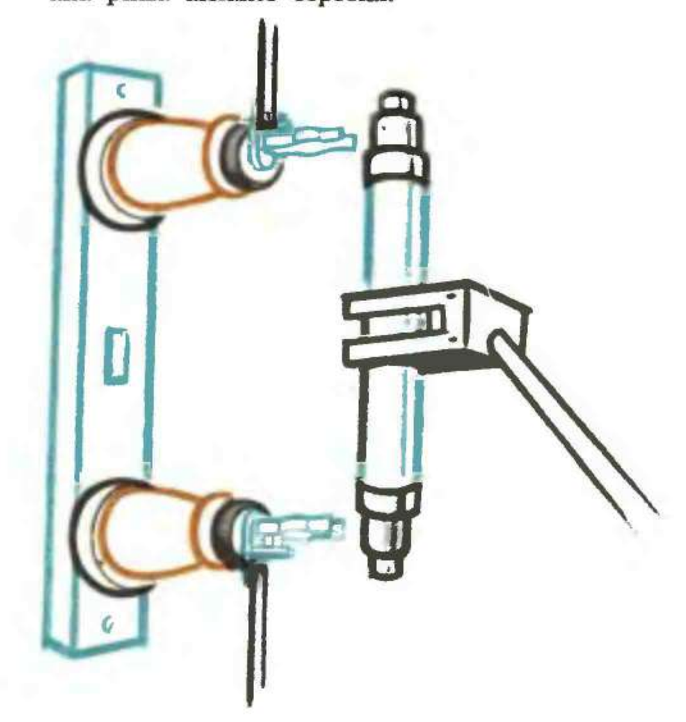


Aspecto real y sección de un cartucho Gardy.

po aumenta con la intensidad de la corriente. En su interior está dispuesto un soporte aislante sobre el cual se enrollan los conductores fusibles que se conectan a los casquillos. El espacio interior libre se rellena con sílice, destinado a la extinción del arco.

El indicador de fusión (esmaltado en color rojo), impulsado por un resorte, aparece en el momento de fusión del cartucho.

El cambio de estos fusibles puede hacerse con una pinza aislante especial.



Colocación de un cartucho Gardy con ayuda de pinzas.

PARARRAYOS

Los pararrayos tienen el objeto de proteger las líneas e instalaciones eléctricas frente a la aparición de sobretensiones peligrosas.

Las instalaciones eléctricas pueden quedar expuestas a sobretensiones superiores a la capacidad de su aislamiento. La finalidad de la protección contra sobretensiones es impedir que el aislamiento de una instalación tenga que soportar esfuerzos eléctricos inadmisibles, capaces de ocasionar grandes desgastes y costosas interrupciones del servicio.

Según su origen, las sobretensiones pueden dividirse en dos clases:

1. Sobretensiones de origen interno. Son las provocadas por una modificación del estado de la red, a consecuencia de maniobras de conexión, defectos de la línea, ruptura, puesta a tierra accidental, etc.
   Los circuitos sólo provocan sobretensiones de amplitud relativamente débil. Los defectos a tierra no producen más que sobretensiones inferiores a las admitidas, que pueden ser soportadas por el aislamiento de la instalación.
   Las sobretensiones que aparecen durante la conexión de transformadores pueden, en determinados casos, cebar los pararrayos; éstos se bastan para eliminar estas sobretensiones, incluso cuando se trata de grandes transformadores. La expresión «cebar los pararrayos» no significa otra cosa que ponerlos en condiciones de funcionamiento.
2. Las sobretensiones de origen atmosférico provocadas por un rayo son las más peligrosas, porque pueden alcanzar valores elevados, incluso en el caso de que el rayo no caiga directamente sobre la línea. Sólo con que caiga en las proximidades provoca una súbita modificación del campo, capaz de provocar una sobretensión peligrosa. Los rayos directos sobre líneas no protegidas montadas enteramente sobre postes de madera pueden (por la gran rigidez dieléctrica de tales postes) dar lugar a sobretensiones muy elevadas. Cuando se trata de líneas montadas sobre postes metálicos, la capacidad de aislamiento de los aisladores limita la amplitud de la sobretensión, que, sin embargo, aún resulta netamente superior al poder aislante de las otras partes de la instalación.

Las tensiones inducidas por rayos indirectos pueden alcanzar valores del orden de 200.000 V. En determinadas condiciones, se han comprobado valores aún superiores.

Una buena protección contra sobretensiones debe reunir las condiciones siguientes:

a) Fácil paso de la corriente de choque.

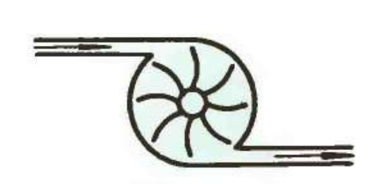
b) Ruptura rápida de la corriente.

c) Escaso retraso en el funcionamiento.

Los modernos pararrayos o autoválvulas, de resistencia variable con la tensión, reúnen estas condiciones.

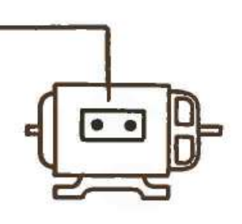
FUNCIONAMIENTO

El pararrayos establece una ligazón de baja resistencia con tierra, durante la sobretensión, evitando que el exceso de voltaje alcance los puntos de la instalación que podrían ser dañados. Por tanto, el funcionamiento es parecido al de una válvula de regulación de presión en una instalación hidráulica. Para explicar más claramente la acción del pararrayos lo comparamos con la disposición de seguridad en un depósito destinado a regular la presión en una red de distribución hidráulica.

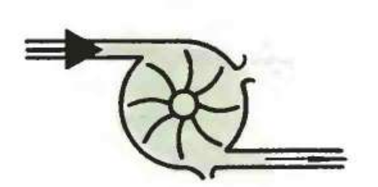


No existe en este caso ningún peligro, aún sin dispositivo de seguridad, mientras la presión del agua sea normal.

380 V 380 V

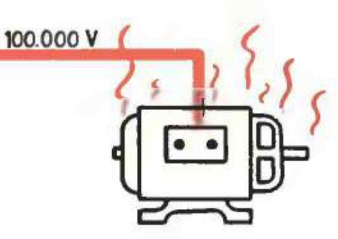


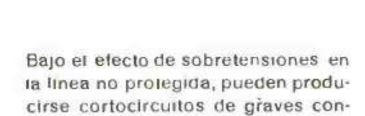
Cuando no existen sobretensiones, la instalación eléctrica no corre ningún peligro.



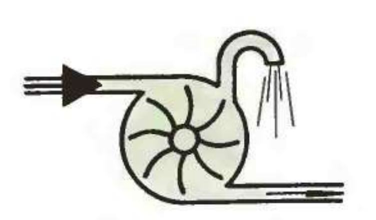
Bajo el efecto de una sobre presión, la instalación sin dispositivo de seguridad, puede sufrir grandes desperfectos.

100.000 V

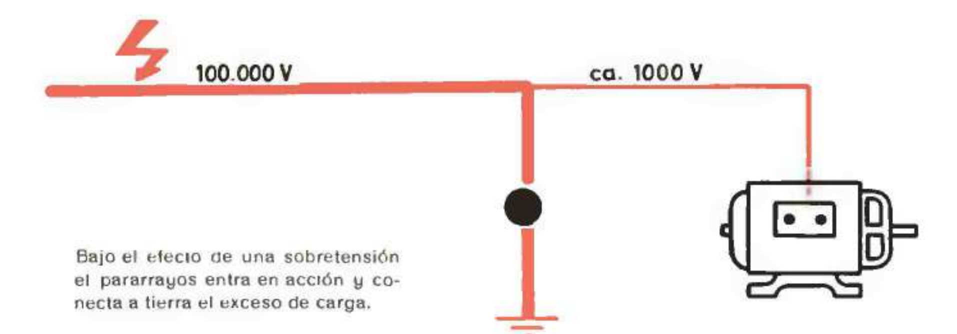




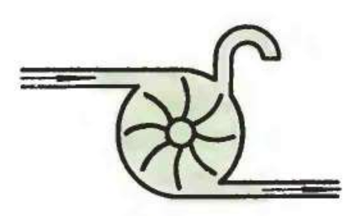
Bajo el efecto de sobretensiones en la línea no protegida, pueden producirse cortocircuitos de graves consecuencias.



Con un dispositivo de seguridad, la presión no aumenta más que ligeramente, ya que el exceso de agua, tiene fácil salida.

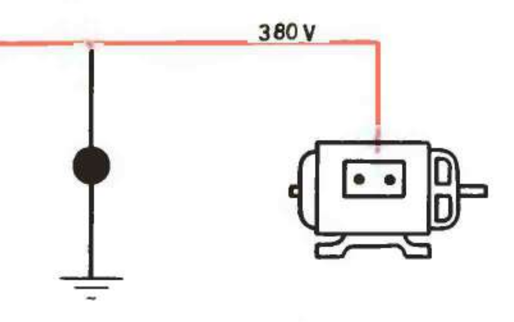


Bajo el efecto de una sobretensión el pararrayos entra en acción y conecta a tierra el exceso de carga.



Habiendo bajado la presión al límite normal, el dispositivo de seguridad ha terminado su misión, pero puede entrar en funcionamiento en cualquier momento preciso

380 V



Después de debilitarse la corriente que se descarga a tierra, el explosor corta la pequeña corriente producida por la tensión de la línea; el pararrayos puede entrar en funciones inmediatamente.

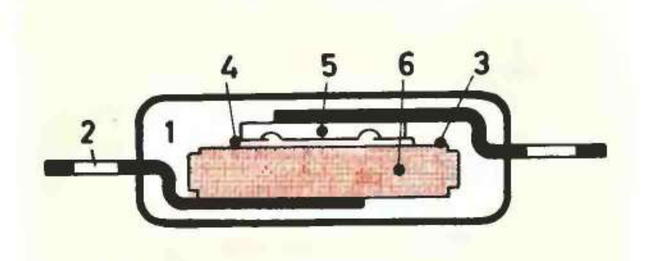
PARARRAYOS DE BAJA TENSION

Estudiaremos dos de los pararrayos de baja tension más acreditados en el mercado. Los dos se basan en el mismo procedimiento, aunque la forma constructiva difiere bastante.

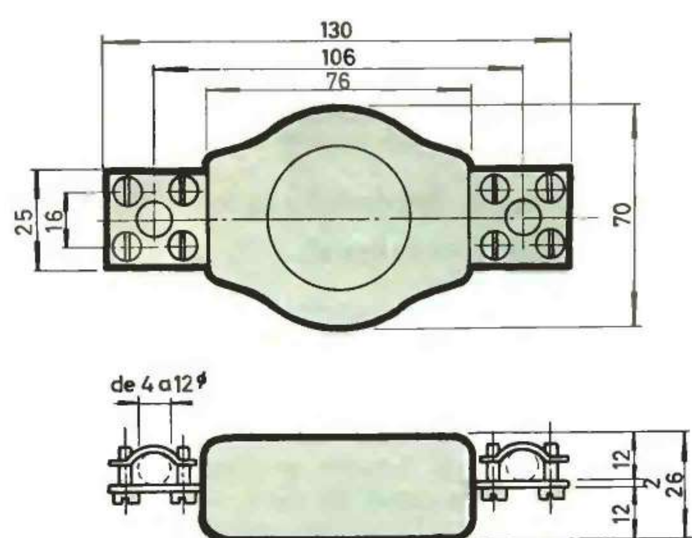
Pararrayos Revar

Este pararrayos está compuesto por un explosor y una resistencia variable con la tensión, capsulados en un cuerpo de resina moldeada «orlita». De esta forma se obtiene una protección estanca y una excelente protección mecánica. Dos bornes de conexión emergen del cuerpo en «orlita», excluyendo así toda infiltración de humedad. Las figuras muestran la sección y una vista de un pararrayos Revar para baja tensión.





1. Cuerpo de "orlita". — 2. Borne. — 3. Placas de contacto. — 4. Aislamiento de mica. — 5. Explosor. — 6. Resistencia variable con la tensión.



Dimensiones del pararrayos Revar para líneas de baja tensión.

Pararrayos Isodel-Sprecher

La parte activa está constituida por una resistencia (*a*) de característica no lineal (o sea, variable con la tensión), montada en serie con el explosor (*b-d*). Ambos elementos quedan sujetos por el resorte (*e*). La figura representa una vista y sección de este pararrayos.

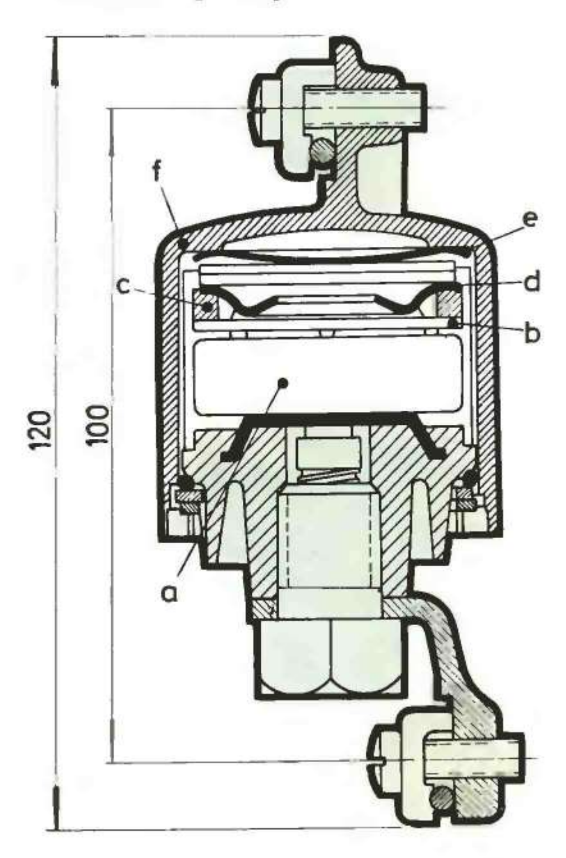
El explosor está compuesto por dos electrodos de latón (*b* y *d*) separados por un anillo (*c*) de una sustancia semiconductora patentada.

La parte activa está encerrada en una campana estanca (*f*) de aleación ligera que la protege de la acción del polvo y de la humedad.

Pararrayos tipo BNF2-380 V.



Sección de un pararrayos tipo BNF-380 V.



PARARRAYOS DE ALTA TENSION

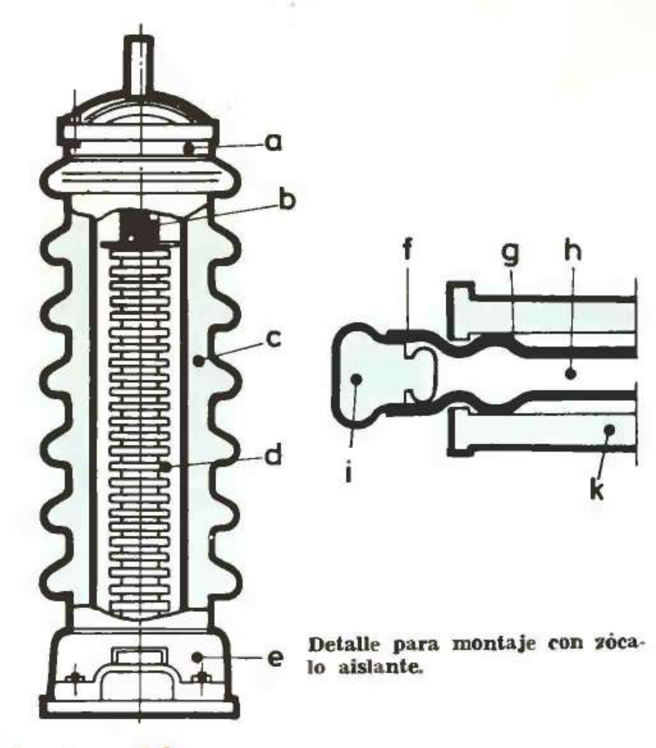
Nos limitaremos a describir los tipos más usuales en el mercado.

Pararrayos Isodel-Sprecher para altas tensiones

La parte activa está constituida por una serie de elementos idénticos (*d*), comprimidos por un resorte (*b*).

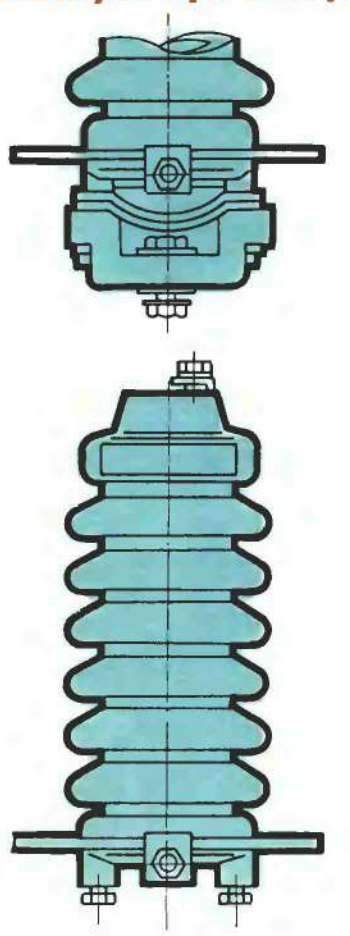
Cada elemento está formado por un cebador o explosor (*h*) en serie con una resistencia variable con la tensión. El cebador se compone de dos electrodos (*g*) en forma de disco, separados por un anillo cerámico (*i*) de gran resistencia óhmica, y concebidos de tal forma que crean un potente efecto de extinción del arco.

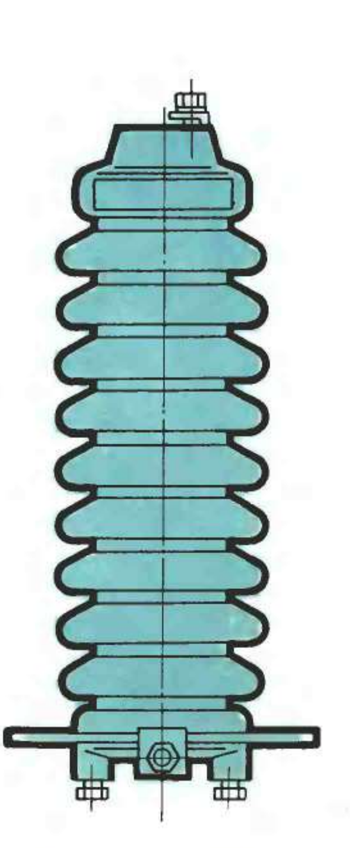
El número de elementos a colocar en serie está determinado por la tensión de servicio del pararrayos. La figura representa la sección de un pararrayos Isodel-Sprecher.

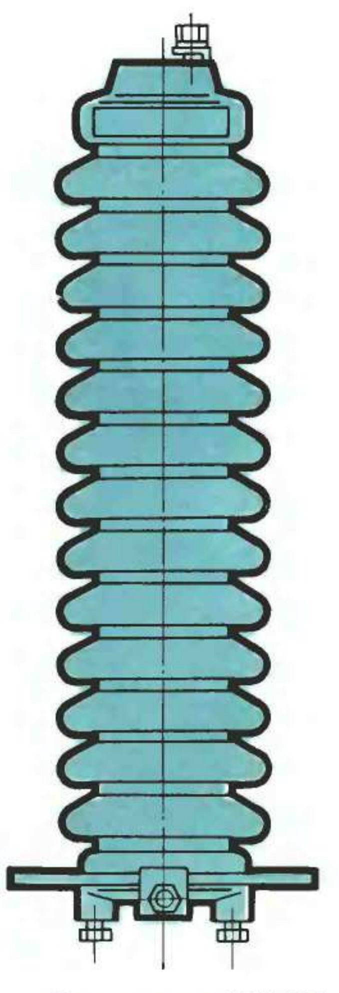


Detalle para montaje con zócalo aislante.

Pararrayos tipo BAR para media y alta tensión.


Pararrayos BHF 404 3,75-10 kV.

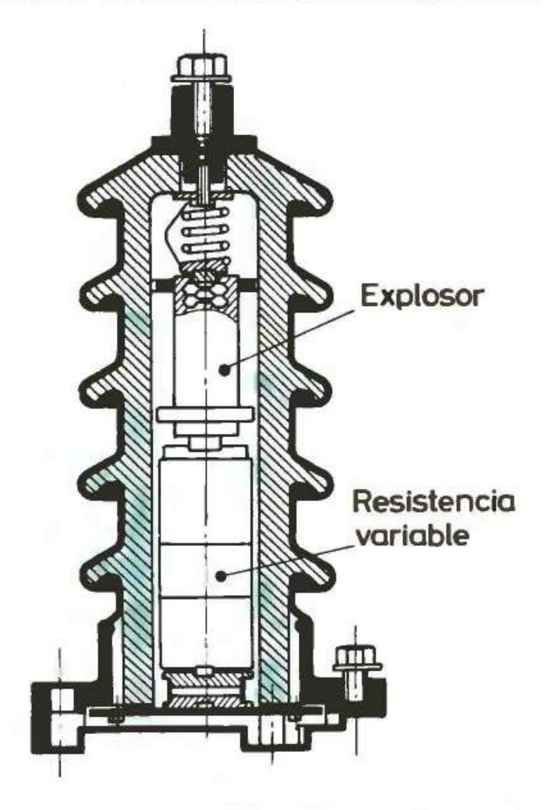

Pararrayos BHF 406, 12,5-20 kV.

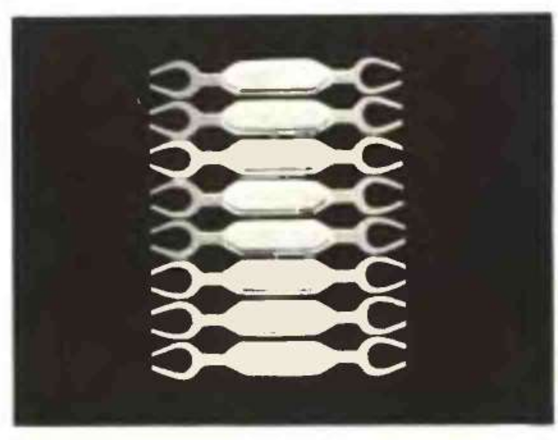

Pararrayos BHF 407, 22,5-30 kV.

El aislador de porcelana (*c*) protege de la intemperie la parte activa montada en su interior. La estanqueidad perfecta para el aire y el agua se consigue con una construcción especial a base de caucho. Antes de su envío se llena el pararrayos de aire seco, y así queda dispuesto para funcionar en óptimas condiciones. Los dos extremos del aislador quedan cerrados por caperuzas metálicas (*a* y *e*) cementadas sobre la porcelana.

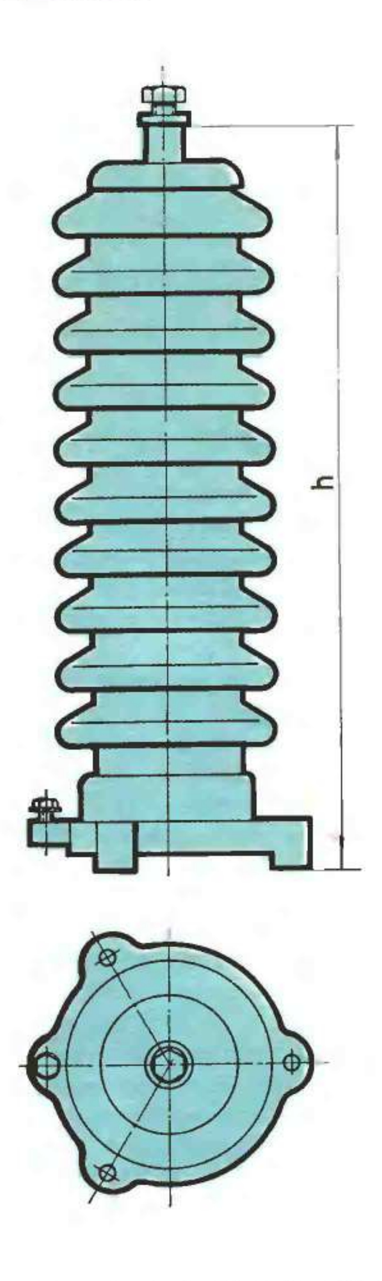
Pararrayos Revar para alta tensión

Los elementos de estos pararrayos, en vez de llevar el explosor y la resistencia variable con la tensión y estar formados con un número de elementos en serie, tienen separados el explosor y la resistencia variable; el tamaño de cada uno de ellos depende de la tensión de servicio. Además, la cámara se llena de hidrógeno en vez de aire seco. La figura reproduce la sección de este pararrayos y un explosor.





Corte de un explosor.



Pararrayos moderno, su altura h, varía con la tensión de servicio.

PROTECCION DE MAQUINAS Y LINEAS

Los interruptores automáticos pueden estar equipados con relés que por medio de timonerías actúan sobre el interruptor y provocan su desconexión. Hay que distinguir:

1. Desconexión primaria. En este sistema la desconexión se provoca por la corriente principal, que pasa por el relé.
2. Desconexión secundaria. En este caso el relé se monta separado y es actuado por la corriente secundaria de transformadores de tensión o intensidad.

Desconexión primaria

RELÉS DE SOBREINTENSIDAD. La forma más sencilla de proteger las redes de corriente de alta tensión contra las corrientes de cortocircuito y las sobrecargas, es equipar los disyuntores con relés para corriente principal.

Los relés temporizados para corriente principal están directamente sometidos a los efectos térmicos y mecánicos de los cortocircuitos. De ello se derivan condiciones especialísimas que deben reunir.

Los relés temporizados para corriente principal se montan de preferencia directamente sobre dos o tres polos de los disyuntores de potencia. El brusco movimiento de disparo del relé se transmite mecánicamente por medio de una varilla aislante al mecanismo del disyuntor, provocando de este modo su inmediato funcionamiento.

Las ventajas de los relés primarios sobre los secundarios son las siguientes:

a) No requieren ninguna fuente auxiliar de energía, ya que se intercalan en serie con la línea.

b) No precisan transformadores de intensidad en su montaje.

c) Su funcionamiento es independiente del resto de la instalación.

d) Por la simplicidad de sus mecanismos, sencillez de instalación y funcionamiento correcto, son aplicables en la generalidad de los casos, sobre todo cuando no se requiere una gran selectividad o cuando interesa que el coste de protección de redes o aparatos sea lo más bajo posible.

RELES PRIMARIOS SA DE AEG PARA INTERRUPTORES DE ALTA TENSION

El relé **SA** está integrado en su parte externa por una carcasa de fundición, de suficiente solidez para conseguir una perfecta protección mecánica de todos sus elementos. En su parte inferior lleva un orificio roscado para fijación del relé al soporte.

Dentro de esta carcasa están colocados los siguientes dispositivos:

1. Bobina de excitación, en cuyo interior lleva un núcleo magnético con movimiento de ascenso y descenso.
2. Mecanismo de regulación de sobreintensidad, provisto de un tambor con las divisiones 1'4, 1'6, 1'8 y 2, que indican *n* veces la intensidad nominal.
3. Mecanismo de ajuste de tiempos, con su correspondiente tambor graduado, con las divisiones 0'2, 5, 10 y 15 segundos.
4. Aparato de relojería de precisión, encargado de lograr el retraso entre el arranque del relé y la transmisión del impulso al desenganche del interruptor.
5. Resistencia adicional de descarga, en paralelo con la bobina, cuya misión es proteger el aparato contra intensidades muy elevadas. Esta resistencia va montada exteriormente.



Todos los aparatos están provistos de una placa, situada en lugar visible, en la que se ha grabado el diagrama del ajuste de tiempos. También se indica en esta placa la intensidad nominal del aparato.

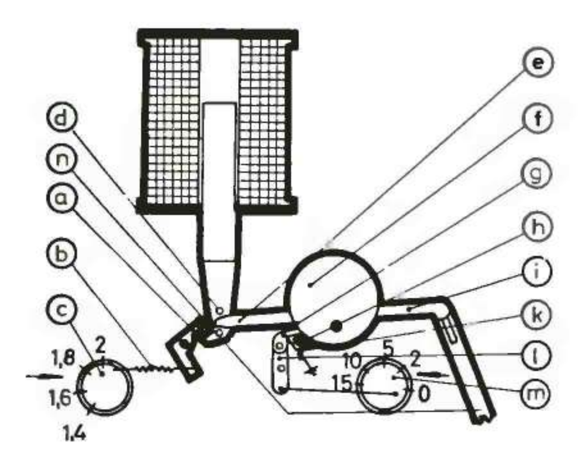
El relé lleva, para su conexión, bornes de entrada y salida situados en la parte inferior y superior del conjunto.

La figura representa un relé SA.

Vamos a describir su funcionamiento. Para mejor comprensión, vea el esquema simplificado de mecanismos.

Si la bobina de excitación está recorrida por una intensidad igual o mayor *n* veces a la nominal de línea, indicada por la división del tambor (*c*), situada frente al índice, la fuerza de atracción ejercida sobre el núcleo vence la resistencia del resorte (*b*), se desplaza la pieza (*a*) hacia la izquierda y el núcleo comienza su movimiento ascensional. En este movimiento, y en virtud del tope inferior (*d*), arrastra consigo la palanca (*e*), que a su vez pone en funcionamiento el mecanismo de relojería alojado en (*f*). Por un adecuado sistema de engranajes se oculta el tope (*h*), con lo que el conjunto del tambor retenido por la pieza (*i*), puede bascular libremente, y por medio del conjunto de palancas (*i-n*) transmite el impulso al desenganche del interruptor, provocando la desconexión.

En caso de cortocircuito, el disparo del relé se realiza de modo instantáneo, pues el esfuerzo producido es tan elevado que vence la resistencia del resorte (*k*); al girar hacia la izquierda la pequeña pieza (*g*), puede pivotar libremente el tambor (*f*) y transmitir el impulso al desenganche. En esta operación no actúa el mecanismo de relojería.

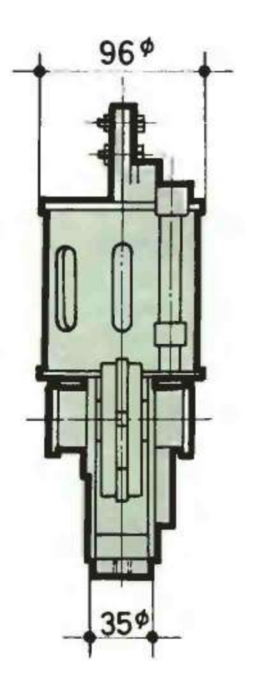


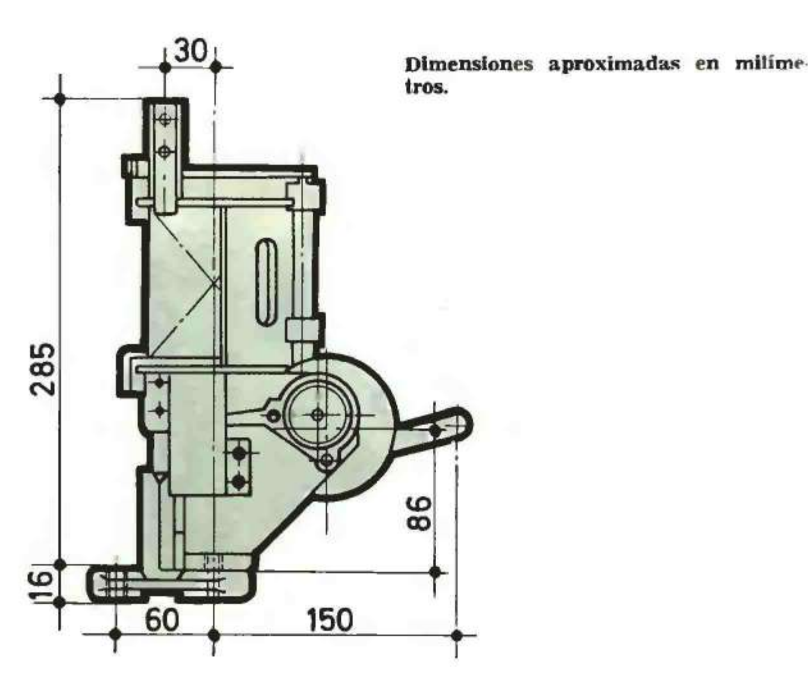
Esquema simplificado de mecanismos.

El tambor de regulación de intensidad (*e*) permite tensar más o menos el muelle (*b*), con lo que el esfuerzo a vencer en (*a*) se aumenta o disminuye a voluntad.

El tambor de regulación de tiempos (*m*) desplaza más o menos la palanca (*g*), variando el camino a recorrer por el tope (*h*) en su ocultación.

Cuando la corriente vuelve a su estado normal, el esfuerzo producido es mínimo y el núcleo cae por su propio peso, quedando en estado de reposo.





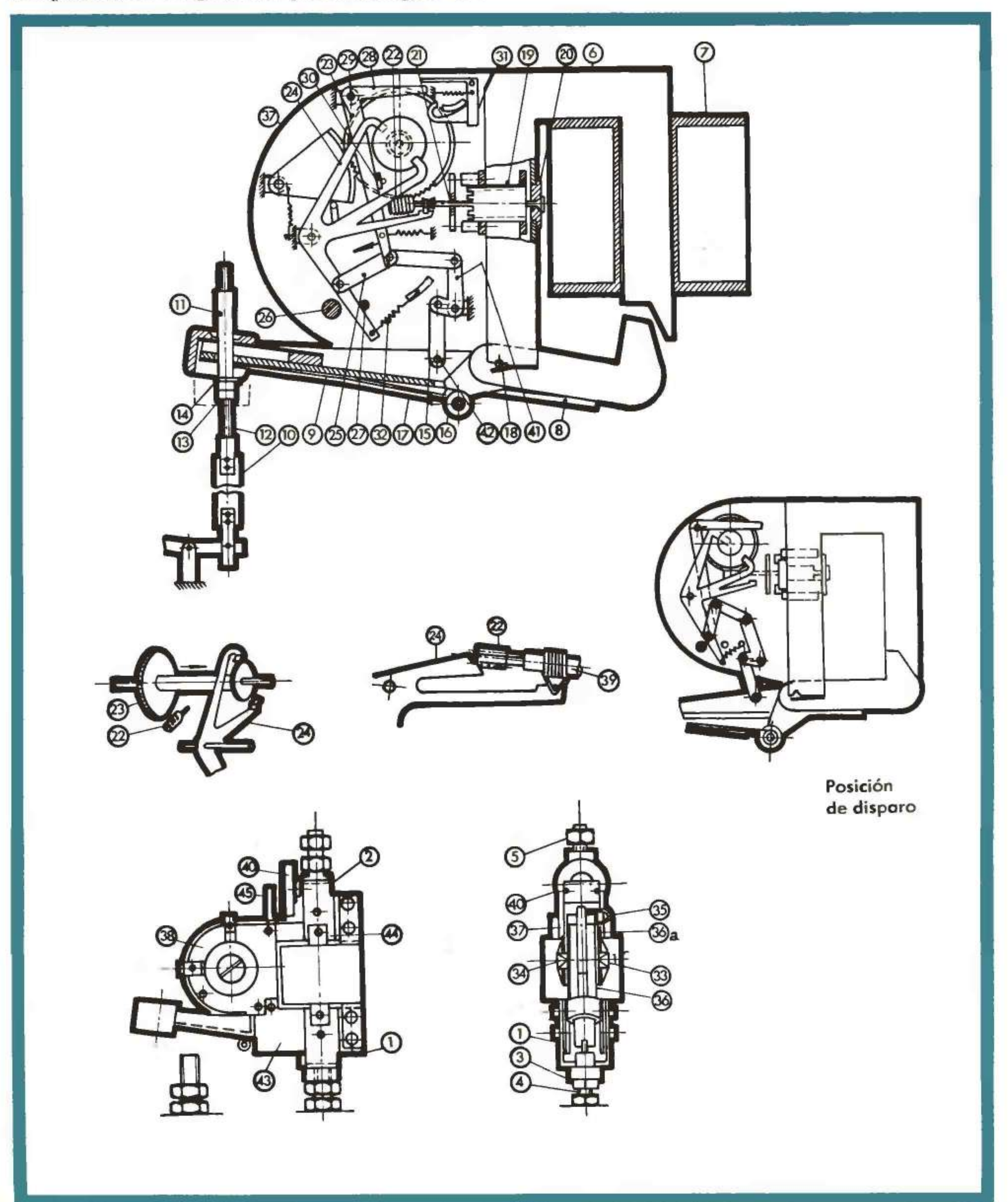
Dimensiones aproximadas en milímetros.

RELE PRIMARIO HIZ DE OERLIKON

El relé temporizado de corriente principal permite un disparo de tiempo independiente de la intensidad de la corriente y un disparo instantáneo regulable entre 3 y 6 In (intensidad nominal), con posición de bloqueo « ∞ » y de desbloqueo «0».

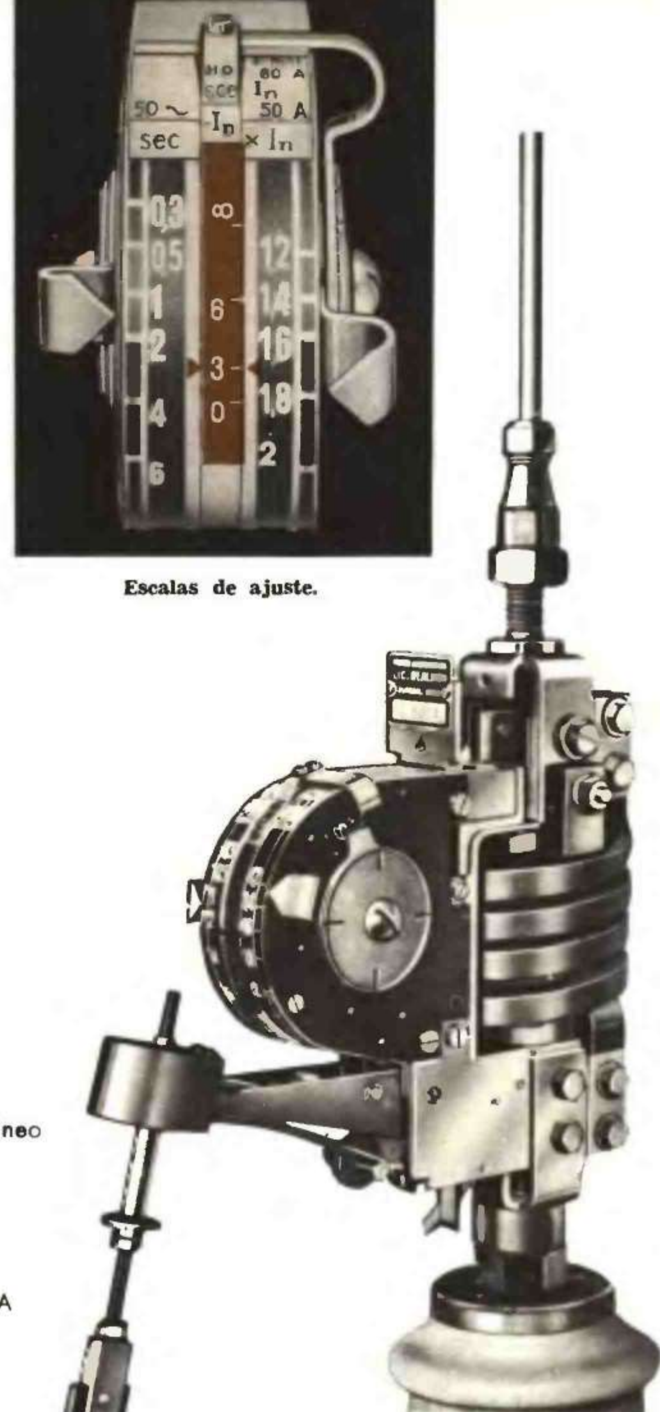
Consta esencialmente de tres partes (véase figura):

1. Armazón magnético (*b*) con motor síncrono (19) y bobina de corriente (7).



Leyenda

1 Borne inferior
2 » superior
3 Contratuerca
4 Espiga de embornamiento
5 Tuerca de embornamiento
6 Núcleo magnético
7 Bobina de corriente
8 Armadura
9 Palanca de disparo
10 Vástago aislante
11 Tubo de regulación
12 Espiga roscada
13 Tuerca de regulación
14 Arandela
15 Biela
16 Leva
17 Resorte
18 Eje
19 Rotor
20 Pivote posterior rotor
21 » anterior rotor
22 Tornillo sinfín
23 Rueda de temporización
24 Palanca de acoplamiento
25 Biela
26 Tope
27 »
28 Palanca de apoyo
29 Eje de la palanca
30 Pivote de disparo
31 Armadura auxiliar para el disparo
32 Muelle sometido a la acción de la corriente
33 Cursor para la corriente
34 » » » temporización
35 Palanca de regulación para el disparo instantáneo
36 Escala
36a » para el disparo instantáneo
37 Cara del pivote
38 Cara fija
39 Muelle para bloquear el rotor
40 Resistencia shunt (sólo para bobinas hasta 40 A incluidos)
41 Palanca
42 Eje de acoplamiento
43 Placas de cierre
44 Fijación para la bobina de corriente
45 Placa indicadora de la corriente nominal del rel



Escalas de ajuste.

Relé temporizad para corriente principal tipo HIZ.

2. Una armadura (8) con palanca de disparo (9).
3. Un mecanismo de caja, escala de regulación (36), cursor para la temporización (34) y para la corriente (33), palanca de regulación de disparo instantáneo (o bloqueo) (35).

Cuando la corriente exceda del valor regulable en la escala del relé, la armadura (8) efectúa un ligero movimiento de rotación y libera el rotor (19), engranando el tornillo sinfín (22) con la rueda de temporización (23). La palanca de disparo (9) está aún bloqueada por el dispositivo de paro, una palanca acodada y la de apoyo (28).

Cuando ha transcurrido el tiempo a que está regulado el relé, un tope (30) —sobre la rueda de temporización 23— empuja la palanca de apoyo (28) en el sentido de la flecha, levantando el sistema de palanca acodada; la armadura (8) es entonces completamente atraída y la palanca (9) acciona, por medio de la biela (10), el disparo mecánico o eléctrico del disyuntor. Para proteger el mecanismo del considerable esfuerzo que se ejerce sobre la armadura (8) en caso de cortocircuito, se ha previsto la unión elástica a través de la varilla (16) y el muelle (17) entre la armadura de la palanca de disparo (9) y el mecanismo de palanca acodada.

El muelle (17) entra en acción bajo una corriente del orden de 2'5 veces la corriente nominal.

Si durante el intervalo de la temporización la corriente se reduce a un valor inferior al 80 % de la que se ha regulado el relé, la armadura (8) recobra inmediatamente su posición de reposo, sin que el disyuntor dispare.

RELES SECUNDARIOS DE SOBREINTENSIDAD

Los relés secundarios de sobreintensidad están alimentados por transformadores de intensidad, y se emplean en los casos en que no conviene instalar relés directos. Estos casos se presentan:

a) Cuando los interruptores están montados al aire libre.

b) Cuando en el punto de instalación pueden producirse cortocircuitos demasiado elevados para los relés directos.

c) Cuando no se dispone de relés directos adecuados a la instalación.

Los relés de secundarios más utilizados son:

1. Relés de máxima intensidad, con tiempo de desconexión dependiente de la intensidad del cortocircuito.

2. Relés de máxima intensidad, con tiempo de desconexión independiente de la intensidad del cortocircuito.

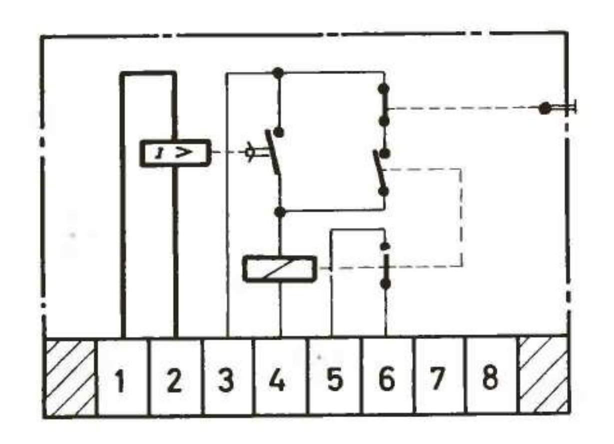
3. Relés de máxima intensidad de desconexión instantánea.

Relés de retraso dependiente. Estos relés tienen la ventaja de adaptarse a las capacidades térmicas de los aparatos y líneas: cuanto más fuerte es el cortocircuito, menos tiempo pueden aguantarlo los aparatos y tanto más rápida es la desconexión que causa el relé. Este tipo se emplea, por tanto, para la protección de transformadores, motores y líneas sencillas. Tiene el inconveniente de que no puede conseguirse una protección selectiva de varios transformadores o líneas conectadas en serie. Como en caso de un cortocircuito todas las líneas puestas en serie tienen el mismo tiempo de desconexión, en vez de limitarse la desconexión automática a la parte de línea averiada (protección selectiva), saltan todos los disyuntores a la vez.

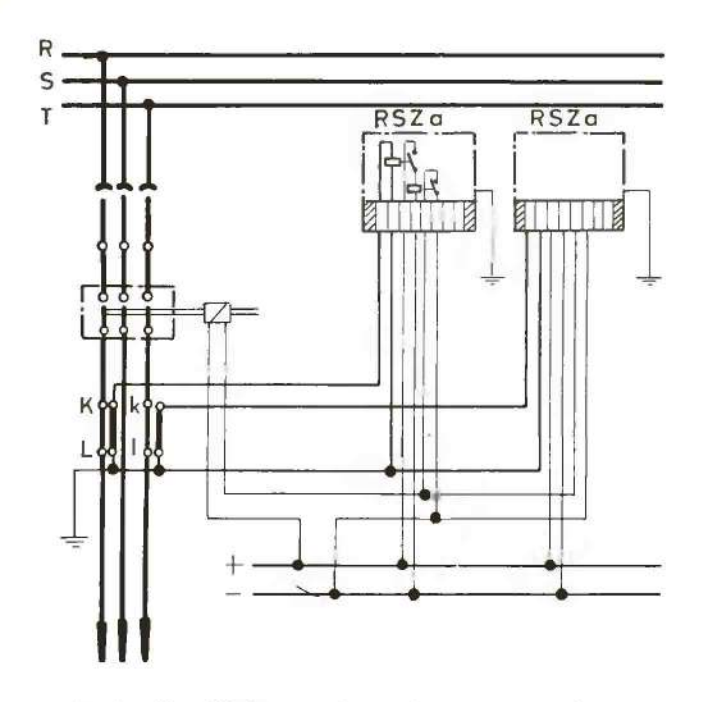
RELE DE MAXIMA INTENSIDAD DE RETRASO DEPENDIENTE RSZA FABRICADO POR AEG

Es un relé monofásico que tiene como elemento principal un disco Ferraris, muy semejante al sistema propulsor de un contador. Sin embargo, se distingue de este último por un contrapeso que mantiene el disco en posición de reposo, mientras la intensidad que pasa por la bobina de inducción no sobrepasa un valor límite. Si esto ocurre, el disco se pone en movimiento (la rapidez del cual aumenta con la intensidad) y al cabo de aproximadamente una vuelta cierra un contacto que da el impulso de desconexión sobre el interruptor. Acortando el camino del disco, por desplazamiento de su posición de reposo, se puede abreviar los tiempos de desconexión.

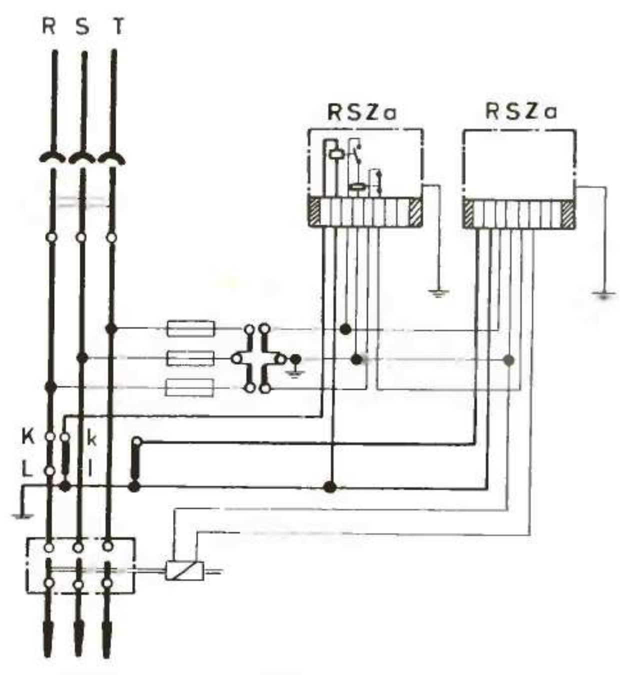
Si el cortocircuito termina antes de que el disco haya cerrado el contacto final, éste se para inmediatamente; y debido a la acción del contra-



Esquema eléctrico del relé RSZA con relé RH20.



Protección bifásica con dos relés RSZA y corriente de desconexión proporcionada por una batería.



Conexion de una protección bifásica con dos relés RSZA por medio de desenganche por tensión nula, es decir, sin batería.

peso vuelve a su posición de reposo sin dar lugar a una desconexión del interruptor.

Para asegurar el buen funcionamiento, el contacto no actúa sobre el interruptor, sino sobre un relé auxiliar RH20 dispuesto en la misma caja, el cual actúa sobre el interruptor.

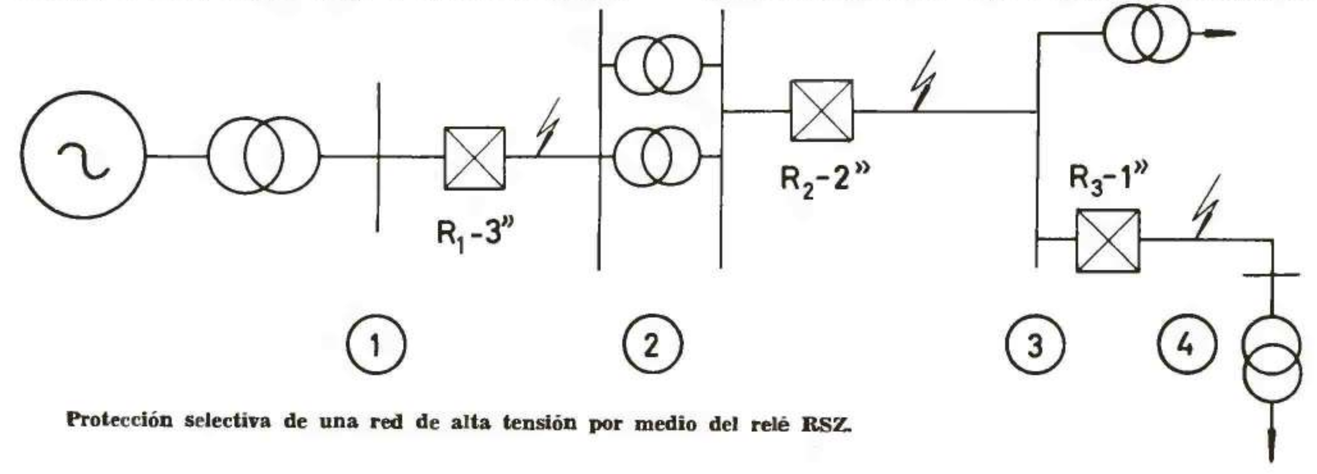
RELÉ DE SOBREINTENSIDAD Y TIEMPO INDEPENDIENTE DE LA INTENSIDAD DE LA CORRIENTE. Este sistema no se adapta a las características térmicas de los aparatos, pero se presta especialmente a la protección selectiva de líneas y aparatos conectados en serie.

RELE DE TIEMPO INDEPENDIENTE RSZ2f Y RSZ3f DE AEG

Estos relés se componen de dos o tres relés electromagnéticos, según se trate de una protección bifásica o trifásica, y de un relé de tiempo. Cuando la intensidad en cualquiera de los relés electromagnéticos rebasa un valor límite, éste atrae su armadura y pone en marcha el relé de tiempo, el cual, cuando llega al final de su carrera, da el impulso de desconexión sobre el interruptor.

La magnitud de este retraso se puede variar entre 0'5 y 6 segundos, con independencia absoluta de la sobreintensidad.

El esquema representa un caso sencillo de aplicación de este relé. Una central (1) suministra



Protección selectiva de una red de alta tensión por medio del relé RSZ.

energía a una subestación (2), de la cual sale una línea al consumidor (4). Escalonando los tiempos de desconexión de los relés RSZ a los valores indicados en la figura, se consigue una desconexión selectiva satisfactoria, como indica la tabla siguiente.

Línea averiada	3 - 4	2 - 3	1 - 2
Relés que arrancan	R_1, R_2, R_3	R_1, R_2	R_1
Relé que dispara	R_3	R_2	R_1
Retraso correspondiente	1 seg.	2 seg.	3 seg.

Una vez eliminado el cortocircuito por el relé más cercano, los demás relés vuelven inmediatamente a su posición de reposo sin reaccionar sobre sus interruptores.

RELES DE SOBREINTENSIDAD DE DESCONEXION INSTANTANEA

Este relé se emplea en casos que se precise una desconexión instantánea tan pronto se rebase la intensidad ajustada previamente. Es decir: en cuanto hay sobrecarga.

RELES DE MINIMA TENSION O TENSION NULA

Estos relés tienen por objeto desconectar el interruptor cuando la tensión es inferior a un valor prefijado o llega a cero.

Este tipo de protección es importante sobre todo en los motores o grupos cuyo arranque no es directo, ya que en caso de encontrarse el interruptor conectado al volver la tensión el motor arrancaría directamente, con el consabido golpe de corriente.

RELES DE MINIMA TENSION DE ACCION TEMPORIZADA

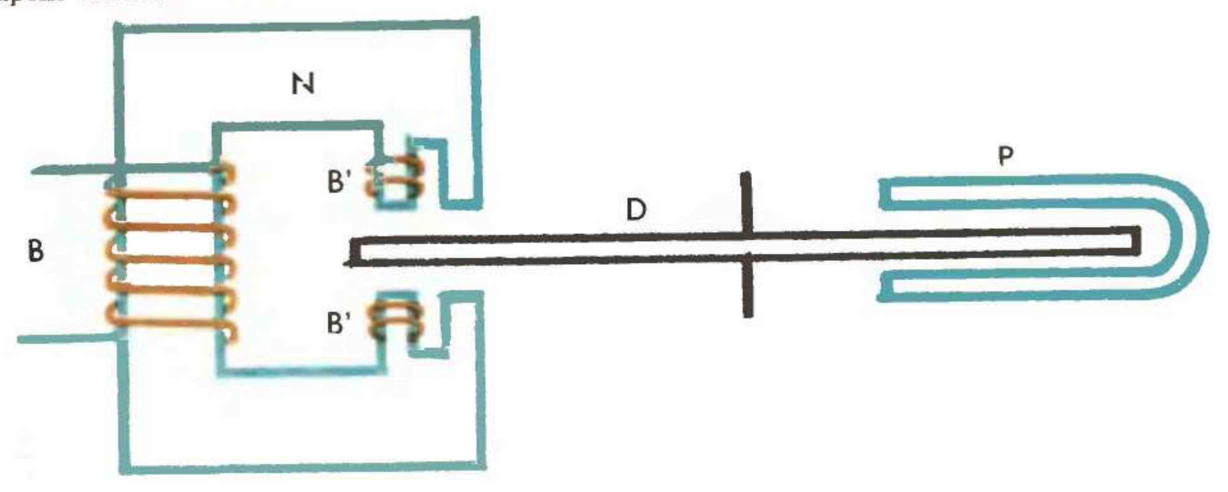
Los relés de mínima tensión temporizados son relés monofásicos, del tipo de disco de inducción, y, por tanto, de retraso inverso.

Se utilizan en sistemas de corriente alterna, monofásicos o trifásicos, para la protección de generadores, motores, baterías de condensadores y cualquier clase de circuitos y equipos automáticos. Disparan un interruptor o hacen funcionar un circuito de alarma cuando la tensión aplicada a su bobina operadora se anula o desciende de un valor previamente fijado. Su característica de retardo inverso los hace apropiados para una protección selectiva, escalonada, con retardos de tiempo ajustables dentro de un amplio campo.

El elemento de inducción de estos relés se compone esencialmente de:

1. El disco de inducción D, montado sobre un eje y dispuesto para girar en el entrehierro de un núcleo magnético (N) en forma de V, en los extremos de cuyos polos se sitúan asimétricamente varias espiras (B') en cortocircuito, o sea, cerradas sobre ellas mismas.
2. La bobina operadora (B) montada en este núcleo, que se conecta en derivación con el circuito a proteger a través de un transformador de tensión.
3. Un imán permanente (P) que abraza el disco de inducción.

La figura representa esquemáticamente este conjunto.

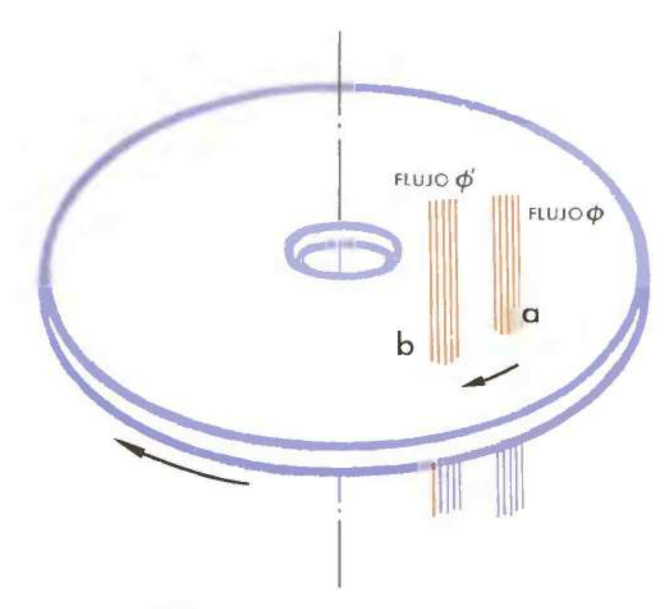


Los relés de inducción utilizan los efectos mutuos de campos magnéticos y corrientes eléctricas inducidas por ellos. Esquematizando los fenómenos, y sin entrar en detalles, diremos que cuando dos flujos magnéticos Φ y Φ' paralelos y defasados entre sí (suponemos Φ adelantado a Φ') inciden normalmente sobre un disco de metal no magnético, por lo general aluminio, se desarrolla en el disco una fuerza *ab* dirigida del flujo adelantado al retrasado. Esta fuerza hace girar el disco, determinando el funcionamiento del relé.

La figura representa el principio de funcionamiento de estos relés.

El flujo Φ creado por la bobina B induce en las espiras B' una corriente, y por tanto un flujo Φ' retrasado casi 90° respecto al flujo Φ. Estos dos flujos, paralelos entre sí y perpendiculares al disco, engendran en la masa de éste corrientes de Foucault.

La acción mutua entre estas corrientes y los flujos mencionados desarrolla un par motor cuya magnitud, para unas condiciones mecánicas fijas del relé, depende del valor de la intensidad de la corriente que circula por la bobina operadora, o sea, del valor de la tensión aplicada a sus bornes. Bajo la acción de este par, el disco gira, equilibrado por un muelle antagonista cuya fuerza determina el punto de funcionamiento.



Después de girar un determinado ángulo, el disco cierra un contacto que alimenta el circuito de disparo del interruptor.

TRANSFORMADORES DE MEDIDA

Los transformadores de medida se utilizan en las instalaciones eléctricas para separar de la alta tensión los circuitos de medida y protección; o también para reducir las magnitudes de medición a un valor conveniente y uniforme. Son aparatos de poca potencia. El arrollamiento primario está sometido al paso de intensidad, o conectado a la tensión que se desea medir u obtener, para fines de protección. Estos transformadores pueden ser de dos tipos:

Transformadores de intensidad.

Transformadores de tensión.

TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD

En estos transformadores el arrollamiento primario está sometido al paso de la intensidad. El arrollamiento secundario, de muy poca potencia, trabaja prácticamente en cortocircuito, o sea, que su resistencia es muy pequeña.

Por el arrollamiento secundario fluye una intensidad de medición, proporcional a la intensidad de servicio en la relación de transformación. Se fabrican para diversas intensidades primarias, y están dimensionados de tal forma que pueden soportar de manera continua 1'2 veces la intensidad secundaria nominal y durante quince minutos 1'5 veces dicha intensidad. La intensidad secundaria es normalmente de 5 A, y de 1 A cuando los conductores de medición son muy largos. La proporción entre la intensidad primaria y la secundaria representa la relación de transformación del transformador; la diferencia en tanto por ciento de la intensidad secundaria, respecto a su valor adecuado, caracteriza su precisión.

La potencia con que se pueden cargar los transformadores de intensidad, sin que ésta sobrepase el valor límite correspondiente a su clase de precisión, se llama potencia nominal y se expresa en VA (voltamperios). La carga efectiva se compone del consumo de los aparatos conectados y del consumo de los conductores de medición que los unen a dichos aparatos.

Los transformadores de intensidad presentan error mínimo para 1/2 a 1/3 de la carga nominal.

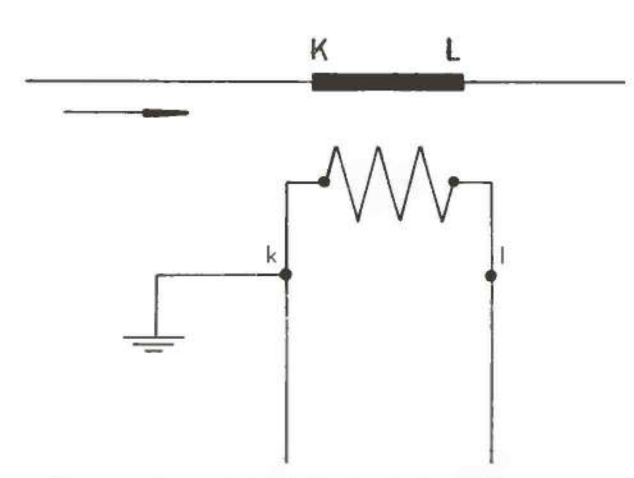
La figura muestra el esquema de un transformador de intensidad, cuyos bornes están marcados con las letras normalizadas.

En los transformadores de intensidad los bornes para el conexionado primario se designan con las letras K y L; para el conexionado secundario,

k y *l*. Los transformadores de intensidad deben montarse en la línea de forma que la dirección de transmisión de la potencia concuerde con la dirección K-L.

En el conexionado de vatímetros y de contadores es preciso respetar la polaridad. Cuando por motivos locales de la instalación no pueden conectarse a la línea en el sentido expresado anteriormente, es preciso invertir el conexionado secundario, a fin de conseguir de este modo una medición correcta. Con el fin de proteger el circuito secundario contra la alta tensión, en caso de fallar el aislamiento, se conecta a tierra un borne del secundario del transformador.

El circuito secundario de los transformadores de intensidad tiene que estar, si el primario está conectado, cerrado constantemente, bien sea por los aparatos de medida o relés, o si no por un puente. Al estar abierto el secundario no sólo se calienta excesivamente el núcleo, sino que además se producen en el arrollamiento puntas de tensión tan elevadas que pueden poner en peligro la vida.



Esquema de un transformador de intensidad.

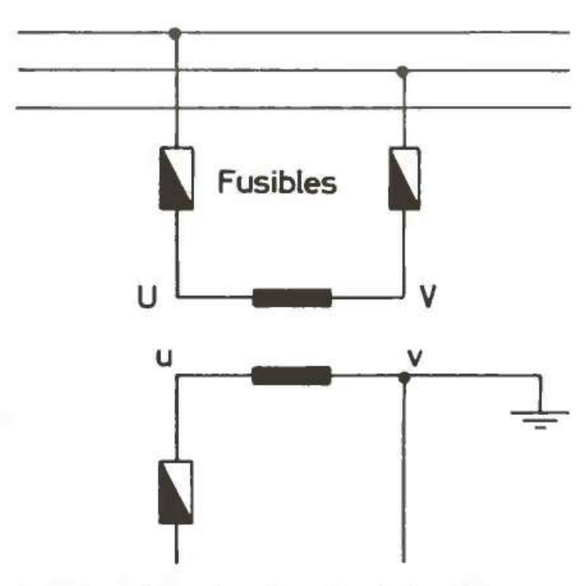
TRANSFORMADORES DE TENSION

Los transformadores de tensión se construyen para una extensa gama de tensiones primarias, y deben admitir sobretensiones de 1'2 veces la nominal. La tensión secundaria se ha establecido en 100 V, si bien se fabrican transformadores para dos tensiones secundarias: 100 y 110 voltios. El valor de la tensión primaria, dividido entre el de la tensión secundaria, representa la relación de transformación del transformador.

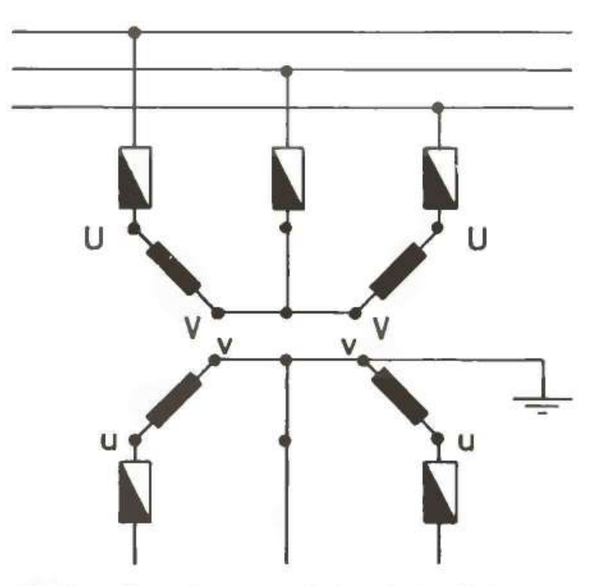
La potencia con la que pueden cargarse estos transformadores, sin rebasar sus correspondientes límites de error, se llama potencia nominal en VA. La carga efectiva del transformador se determina sumando la potencia de los diversos aparatos de medida y relés que abastece.

El mínimo de error lo presentan para 1/2 a 2/3 de la carga nominal.

A continuación representamos los esquemas de conexiones más corrientes en la instalación de transformadores de tensión.



Conexiones de un transformador de tension monofasico.



Dos transformadores monofasicos de tension en conexion V.

MONTAJE E INSTALACION DE CUADROS ELECTRICOS

Por lo general los aparatos de medida, maniobra y medición eléctricos se montan en armarios o soportes que reciben el nombre general de CUADROS. Antiguamente —y aún hoy en instalaciones de poca importancia— los aparatos eléctricos se montaban en placas de pizarra, soportadas por bastidores de ángulo de hierro.

Pero las placas de pizarra tienen el inconveniente de absorber humedad y convertirse en conductores. Este inconveniente representa un peligro para la seguridad del servicio y para el personal, ya que la fuga de corriente a través de la placa puede no ser *franca*, en cuyo caso las protecciones (fusibles, relés, etc.) no actúan; la avería prospera y causa perturbaciones en la instalación. Además, al maniobrar un aparato instalado en un cuadro en estas condiciones la corriente puede pasar a tierra a través del cuerpo del operador, ocasionándole serios perjuicios.

Actualmente se prefiere confeccionar los cuadros con plancha de hierro, con lo cual si falla el aislamiento de los aparatos de maniobra la corriente pasa, a través de la plancha de hierro y descarga, a tierra, dado que en toda instalación eléctrica es obligatorio conectar a tierra todos los soportes y bastidores metálicos.

Los cuadros de hierro se construyen de diferentes tipos:

- Con plancha doblada.
- Con soportes de perfiles de hierro y plancha.
- De fundición de hierro (cuadros blindados).
- De plancha de hierro gruesa soldada; son cuadros antideflagrantes (a prueba de explosiones).

CUADROS DE PLANCHA DOBLADA

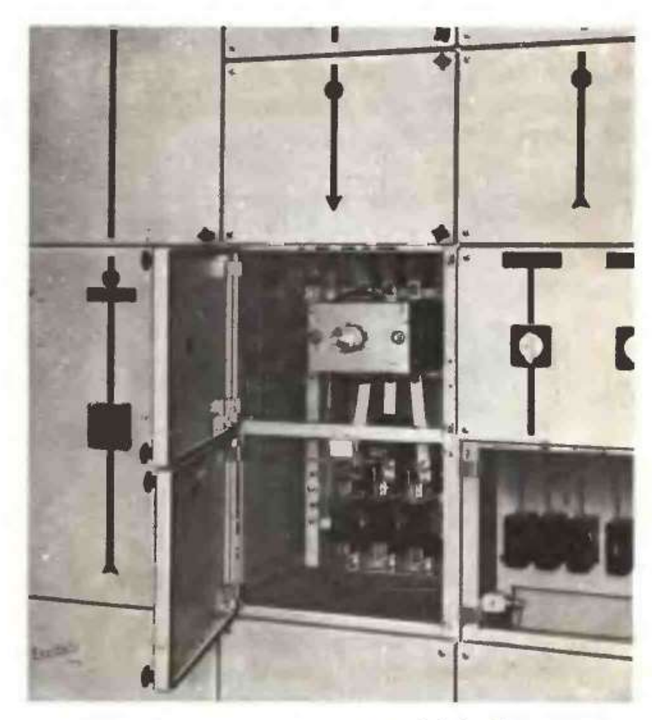
Estos cuadros pueden fabricarse *a la medida*, o sea, ajustando sus características a las necesidades de la instalación; o bien con elementos prefabricados ensamblados de modo conveniente.

La fotografía representa un cuadro de plancha doblada, construido *a la medida*.

Los cuadros construidos con elementos prefabricados, de formas y tamaños normalizados, re-



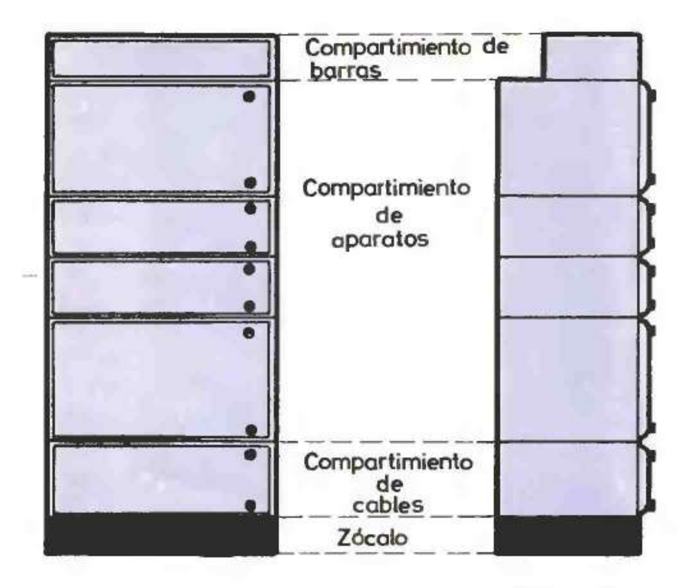
Cuadro de fabricación especial, a la medida.



Cuadro obtenido con paneles prefabricados.

sueiven casi todos los problemas que pueden presentarse en la construcción de un cuadro. Una de las ventajas de estos cuadros, frente a los que se fabrican *a la medida*, es su posibilidad de ampliación por ambos extremos. La fotografía representa un cuadro de este tipo.

Cada uno de los elementos que forman el cuadro recibe el nombre de *panel.*.Estos paneles, en sentido vertical generalmente, se dividen en cuatro secciones, denominadas *compartimento de barras, compartimento de aparatos, compartimento de cables* y *zócalo*.



En sentido horizontal se consideran cuatro divisiones más: *espacio para cables, espacio para aparatos, espacio para emborнar aparatos* y *espacio barras verticales*.

Espacio para cables

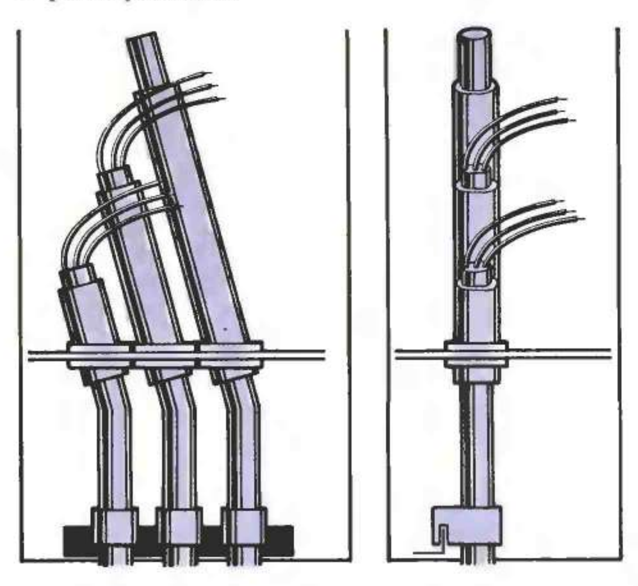
Espacio para emborne de aparatos

Espacio para aparatos

Bornes verticales

En estos cuadros los cables se colocan dentro de tubos, tal como indica la figura.

Los cuadros formados por elementos prefabricados de plancha son, generalmente, accesibles por su cara anterior, al contrario de lo que ocurre en los cuadros con soportes de perfiles laminados y plancha de acero, que sólo son accesibles por su parte posterior. La fotografía corresponde a un cuadro de este tipo; es decir, accesible por la parte posterior.



Ejemplos de instalación de tubos para la conducción de cables, en cuadros metálicos.



CUADROS BLINDADOS

Los cuadros blindados están formados por acoplamiento de distintos *cofrets* (cajas) de fundición de hierro. Para asegurar su cierre hermético llevan juntas de goma en las tapas. Las entradas de conductores a estos cuadros deben hacerse con prensaestopas o cajas terminales acopladas.

El acoplamiento de las cajas se efectúa mediante placas, que pueden ser:

INTERMEDIAS, para acoplar dos cajas de iguales dimensiones laterales.

DE REDUCCIÓN, para acoplar dos cajas de diferentes dimensiones laterales.

TERMINALES, para acoplar una botella para cables.

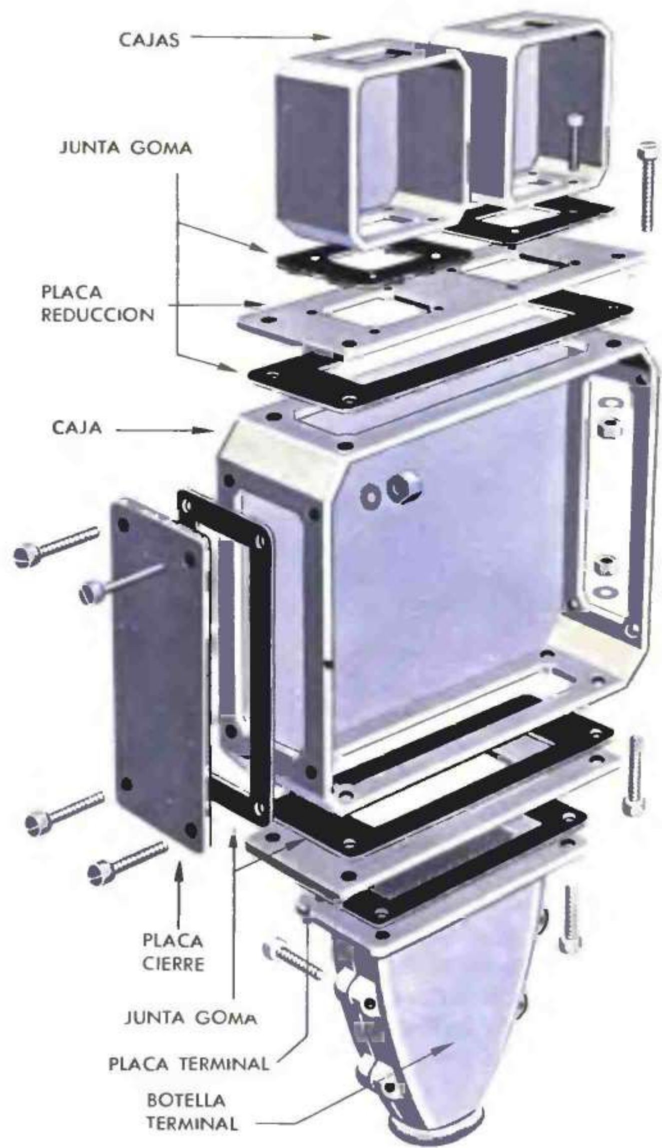
DE CIERRE, para cerrar un lado de la caja o para disponer salidas roscadas, prensaestopas, etcétera.

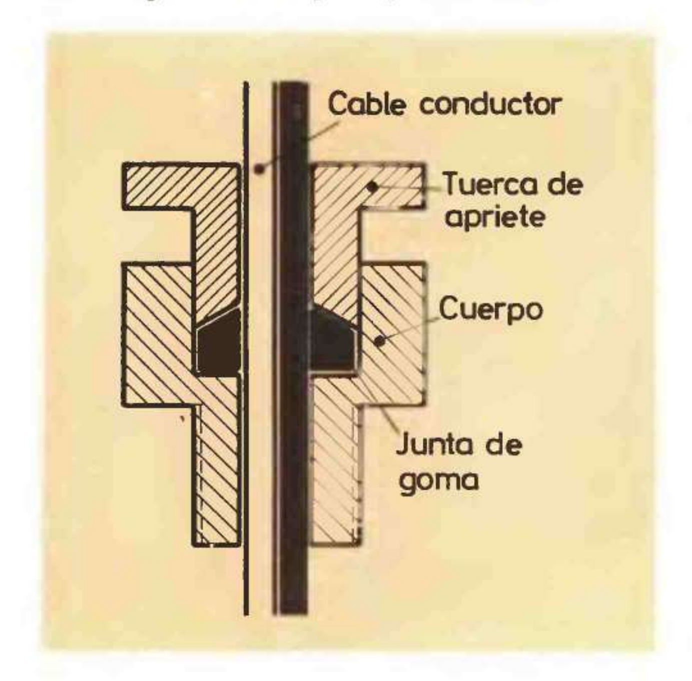
Las placas se unen a las cajas con juntas de goma y se fijan con tornillos que sujetan las dos cajas entre sí, comprimiendo las juntas, con lo que se logra un acoplamiento estanco.

La figura muestra el sistema de acoplamiento descrito.

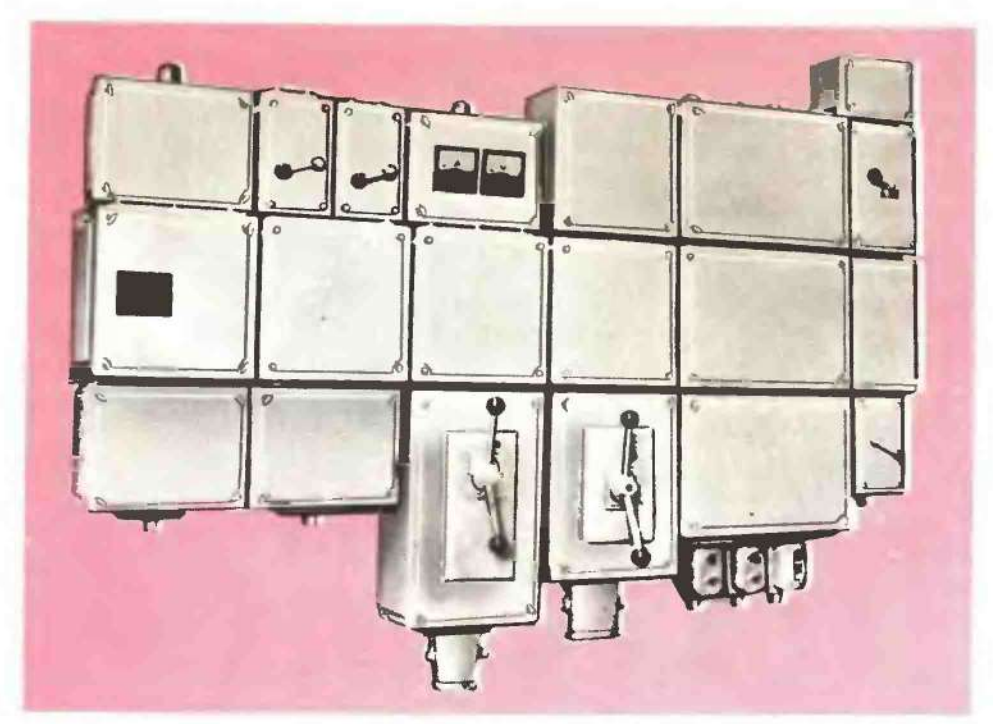
Los prensaestopas consisten en una pieza llamada cuerpo, que tiene un taladro para el paso del conductor cilíndrico, y con un encaje para alojar la junta de goma. La parte superior del encaje está roscada; una tuerca también taladrada se rosca en esta pieza y aprieta la junta de goma contra el cable.

Añadimos dos figuras donde se muestran las distintas partes de que consta un prensaestopas; una fotografía del despiece y una sección.









Cuadro blindado formado por 25 elementos.

Estos cuadros pueden fijarse directamente a la pared con pernos, o bien sobre soportes formados por perfiles de hierro laminado.

Los cuadros blindados se prescriben cuando la instalación debe efectuarse en lugares húmedos, ambientes corrosivos o sitios donde hay mucho polvo. Su campo de aplicación es muy extenso en la industria. Citemos algunas:

Industrias químicas.
Industrias del cemento.
Industrias harineras.
Industrias del azúcar.
Elevación de agua, minas, etc.

En las industrias donde se manipulan productos y gases explosivos deben utilizarse cuadros *antideflagrantes*. Estos cuadros son de concepción igual a los blindados, pero los *cofrets* se construyen con plancha de hierro gruesa soldada.

En algunas instalaciones, para mayor facilidad de control y maniobra, se disponen cuadros en forma de pupitres. En estos pupitres se reúnen generalmente los aparatos de mando y señalización.

Algunas veces, en grandes instalaciones, los aparatos de medida y maniobra se instalan en



Instalación típica de cuadro de mando con pupitre.



cuadros situados frente al pupitre; de esta forma el operador domina el conjunto de la instalación.

En el cuadro que describe la figura se ha representado el esquema sinóptico unifilar de la instalación. De esta forma el operador tiene siempre a la vista el estado de la instalación sin necesidad de consultar planos, lo que facilita la rápida localización de averías y la seguridad de maniobra. Actualmente este sistema se ha extendido mucho, tanto en cuadros de centrales eléctricas y de distribución como en los que controlan procesos industriales continuos.

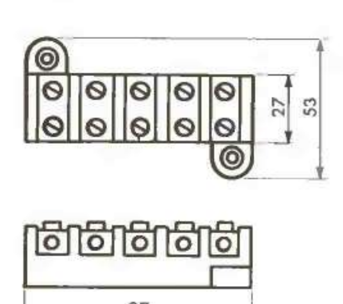
REGLILLAS DE BORNES O REGLETAS

Las regletas de bornes son piezas que tienen por objeto simplificar el montaje del cuadro en el punto de emplazamiento, ya que en fábrica se hace el conexionado del cuadro hasta la reglilla de bornes. A la hora de instalarlo los conductores exteriores deben entregarse en la reglilla de bornes. Es fácil deducir las ventajas de este sistema sobre los que no utilizan regletas, en los cuales los conductores exteriores deben llegar hasta los bornes de los distintos aparatos. En el mercado existen tipos de regletas muy variados:

1. Regletas de bloques.
2. Regletas acoplables.

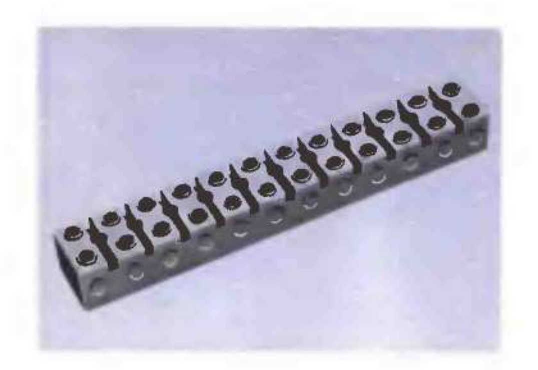
Las regletas de bloques constan de varios bornes, montados sobre una base común. Para su ampliación deben colocarse una junto a otra varias regletas. Las figuras reproducen varias regletas de este tipo.

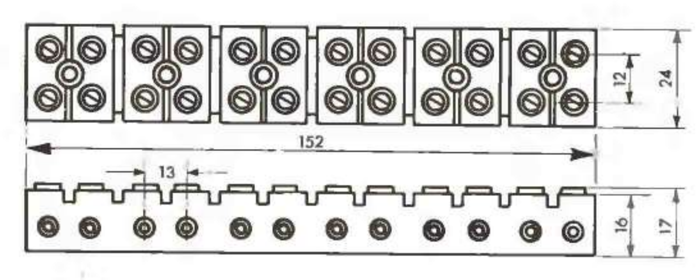




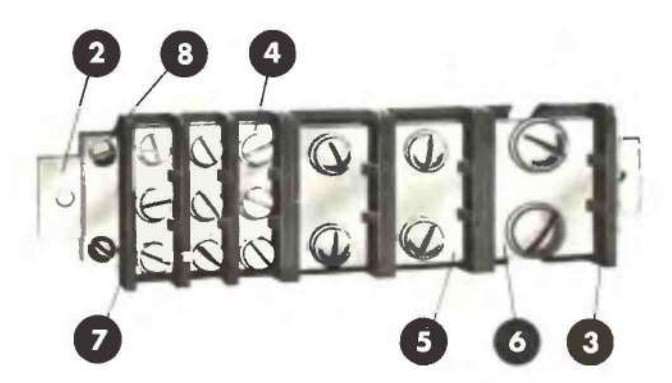
REGLETAS DE VARIOS ELEMENTOS

Borne de latón 10 × 10 mm, para conductor hasta 16 mm².

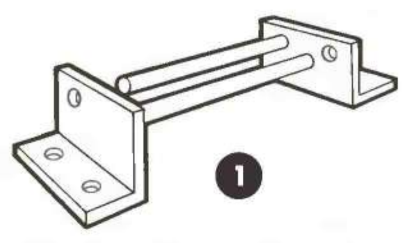




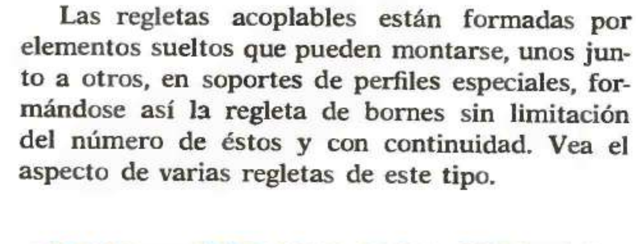
Para conductor hasta 6'3 mm²



Las regletas acoplables están formadas por elementos sueltos que pueden montarse, unos junto a otros, en soportes de perfiles especiales, formándose así la regleta de bornes sin limitación del número de éstos y con continuidad. Vea el aspecto de varias regletas de este tipo.



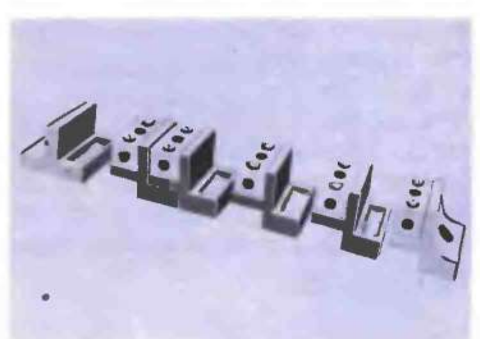
REGLETA ACOPLABLE PARA CUADROS

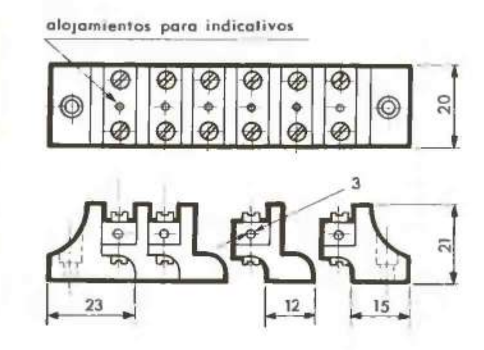


ESPECIFICACION

1 Soporte de varillas
2 » » pletina
3 » aislante
4 Placa terminal con 3 tornillos x 5
5 » » » 2 » » 6
6 » » » 2 » » 10
7 Tabique aislante
8 Sujetador extremos

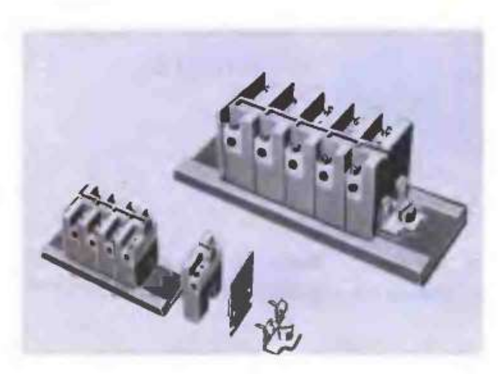
REGLETA CLAVED

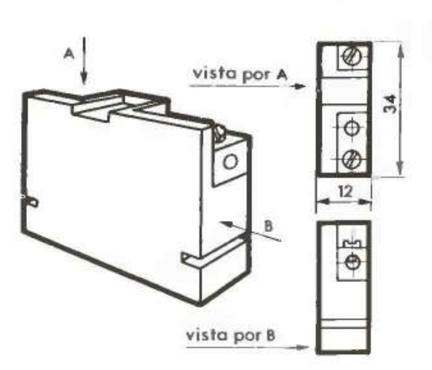




Barra latón 8 x 6 mm.
Para conductor hasta 6'3 mm²

REGLETAS ACOPLABLES PARA UNIONES





Borna latón 8 x 8 mm.
Para conductor hasta 10 mm²



REGLETA CIAMA

DETALLES PROPIOS DE LA INSTALACION PARA CUADROS

En el interior de los cuadros los conductores aislados que conectan a las regletas de bornes los aparatos de mando, medida, maniobra y señalización se instalan en haces planos sujetos con grapas especiales. En caso que falte espacio los haces se disponen verticalmente.

Entre la grapa y el haz de conductores se coloca una capa de cartón aislante (generalmente presspan) para evitar que los cantos de la grapa dañen el aislante del conductor.

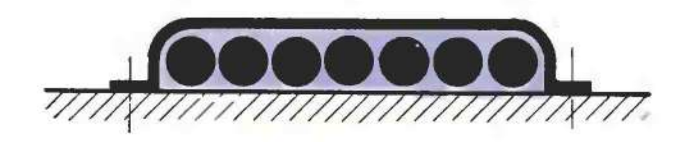
Con estas disposiciones los conductores presentan un aspecto agradable, cosa que no ocurre si se disponen en paquetes atados de forma circular. Por lo general el hilo que se utiliza para el conexionado de cuadro es de un solo color; los más usados son negro y gris. El aislamiento es de plástico.

Al preparar los conductores para conectarlos, la capa aislante se corta inclinando la cuchilla (de forma parecida a como se hace para sacar punta a un lápiz), teniendo gran cuidado de no cortar el conductor. Acto seguido el casquillo aislante, ya cortado, se separa por medio de unos alicates.

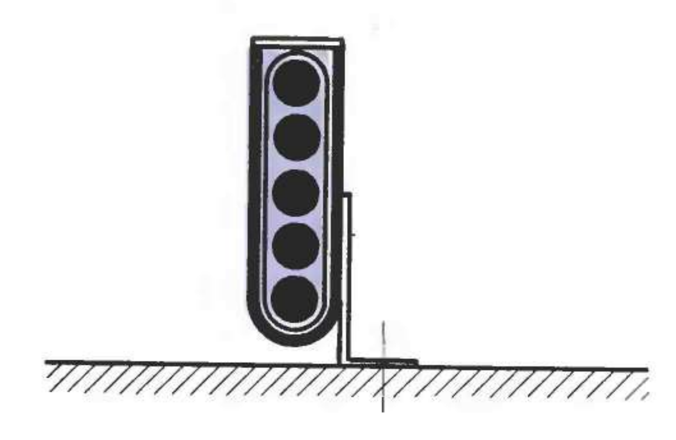
Si los bornes de la regleta son de tornillo, el anillo del final del cable se hace como indica la figura.

Al curvar el extremo para formar el anillo no debe quedar un círculo cerrado; y menos aún un círculo con el extremo cruzado sobre su origen, ya que el hilo se cortaría con facilidad al apretar el tornillo del borne de conexión. El anillo se curva hacia la derecha, o sea, en el sentido de penetración del tornillo; así, al apretar éste se cierra el anillo.

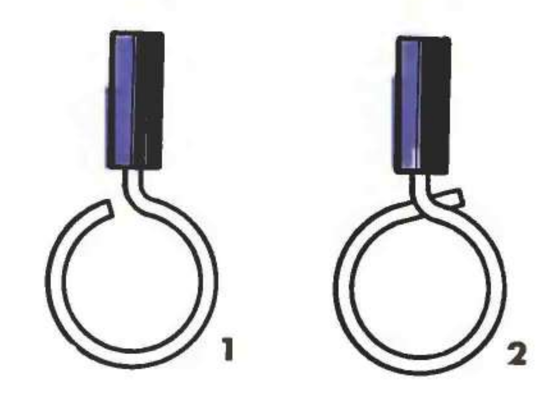
Los conductores para los circuitos de medida, maniobra y señalización, aunque se les dé el nombre genérico de circuitos auxiliares, tienen gran importancia para el buen funcionamiento de una instalación; por tanto, deben escogerse y dimensionarse con el mayor cuidado.



Conductores dispuestos en haz horizontal.

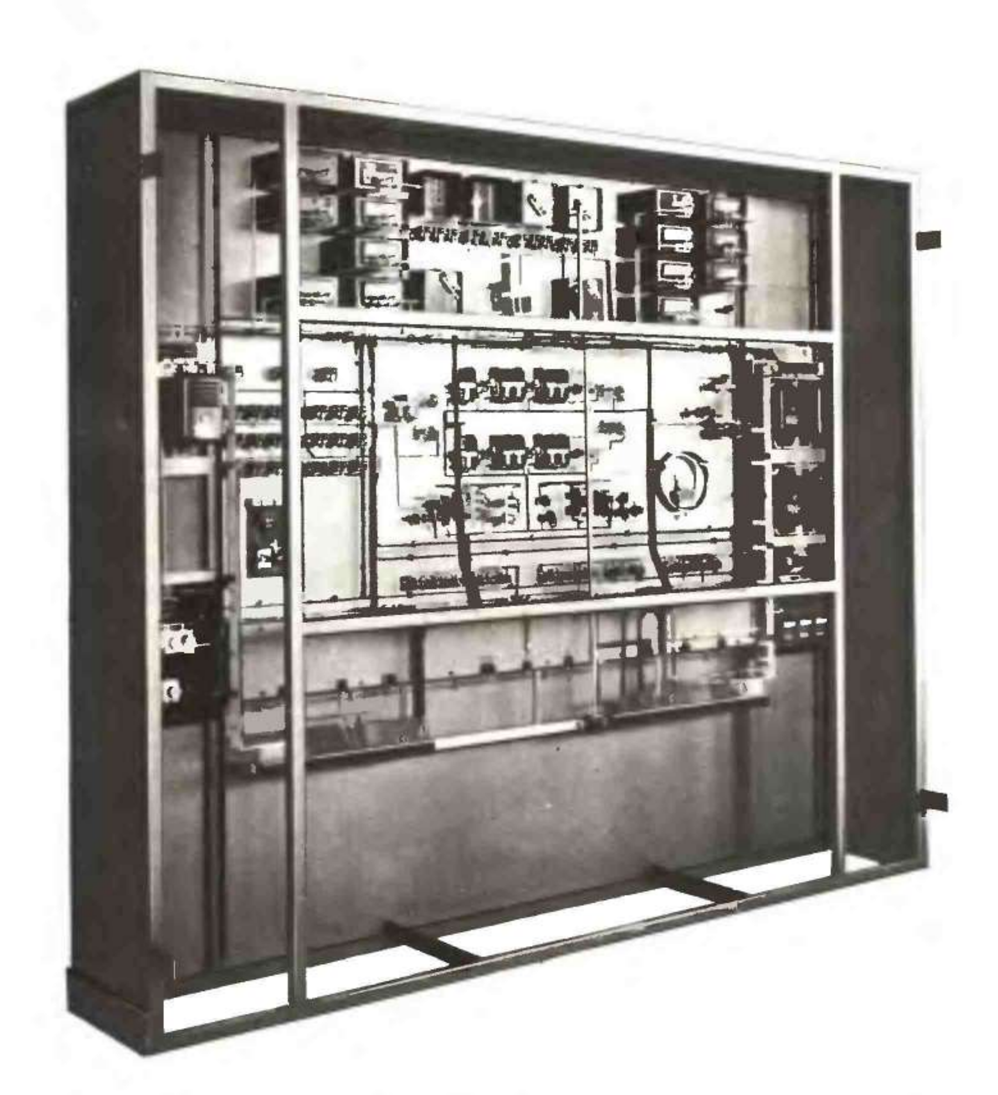


Conductores en haz vertical.



1. Anillo de cable realizado en forma correcta.

2. Anillo de cable de forma incorrecta.



Fotografía de un cuadro visto por su cara posterior. Puede apreciarse la disposición de los cables y regletas de bornes.

Sección de los conductores

En los circuitos de mando y señalización y en los conductores del secundario de los transformadores de tensión, pueden ser de 2'5 mm² de sección en las instalaciones corrientes. Los conductores para la intensidad no deben ser inferiores a 4 mm² de sección; puede precisarse secciones mayores si la potencia de los transformadores de intensidad es pequeña o la carga grande. Al aumentar la longitud de los conductores, hay que tener en cuenta la resistencia del conductor que une el transformador a los aparatos de medida alejados de su emplazamiento.

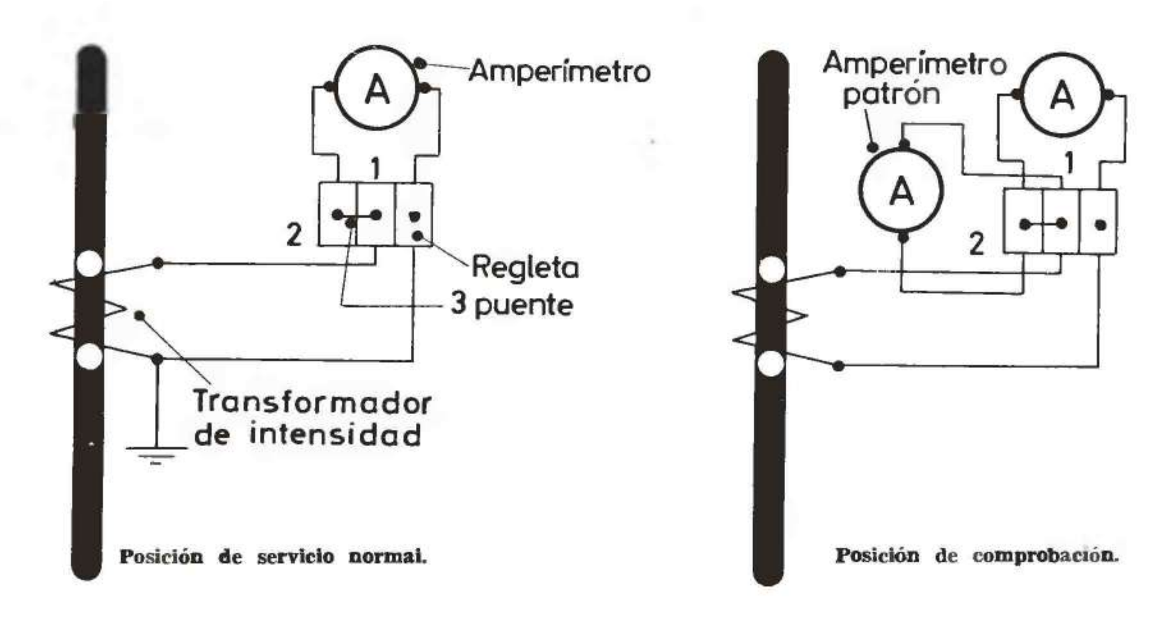
Independencia de los conductores

Si la instalación se hace bajo tubo, nunca se colocarán en un mismo tubo conductores de circuitos de señalización o mando junto con los de circuito de medida. Estos últimos se llevan siempre por tubos independientes. En el caso de hacer las conexiones con cables, se proveen cables separados para los circuitos de medida; y a ser posible, dentro de los conductores de medida se separarán los de intensidad de los de tensión. Esta separación se prescribe para evitar que las corrientes inducidas de los demás circuitos puedan perturbar la exactitud de las medidas.

Hay que tener presente que el secundario de un transformador de intensidad no debe desembornarse nunca con el circuito en tensión, ya que pueden aparecer tensiones muy elevadas, con el consiguiente peligro para el operario.

Conexión de instrumentos patrones

Para conectar instrumentos patrones para la verificación de los aparatos conectados a circuitos de intensidad se utilizan regletas de bornes, preparadas exprofeso para la conexión de los aparatos patrones. Con ello desaparece la necesidad de abrir los circuitos de intensidad. La figura representa el esquema de una instalación de comprobación.



El amperímetro patrón se conecta entre los bornes 1 y 2; seguidamente se abre el puente 3.

Si al proyectar la instalación de un cuadro se establece una disposición sistemática de los bornes, se facilita muchísimo la localización de los defectos y averías que puedan producirse durante el servicio. Colocando todos los bornes de las líneas secundarias uno junto a otro, se forma un grupo, al que se unen otros correspondientes a otros aparatos. Siguiendo el mismo orden en todas las líneas iguales o semejantes que salgan del cuadro, se consigue una disposición ordenada. Dentro de un mismo grupo cada línea se clasifica, además, por su función, polaridad y orden de fases. Para facilitar los trabajos de revisión y reparación es necesario que todas las líneas estén marcadas (indicadas) con claridad, y que todos los bornes y los extremos de cada conductor lleven una marca inequívoca que corresponde a la de los esquemas. Por lo general, los bornes se numeran; los de alimentación se marcan con las letras R, S, T, correspondientes a las tres fases. Los secundarios de los transformadores de medida se marcan con letras, para no confundirlos con las conexiones de maniobra y señalización.

PULSADOR Y LAMPARAS PILOTO

Entre los distintos aparatos que se montan en los cuadros (aparte de los interruptores, cortacircuitos, etc.), ocupan un lugar muy importante los pulsadores y lámparas de señales o lámparas piloto.

Los pulsadores son aparatos que, al accionarlos, abren un circuito; y cierran otro durante el tiempo que se opera sobre ellos, ya que llevan un muelle que al cesar la presión del operador hace que los contactos vuelvan a su posición de reposo.



Pulsador normal.



Pulsador cabeza de hongo (doble).



Pulsador estanco con membrana de goma.

Cámara de contactos

Pulsador con botón normal

Pulsador con posición, giratorio

Pulsador cabeza de hongo

Pulsador de cerradura

Se fabrican pulsadores de tipos muy variados, a saber:

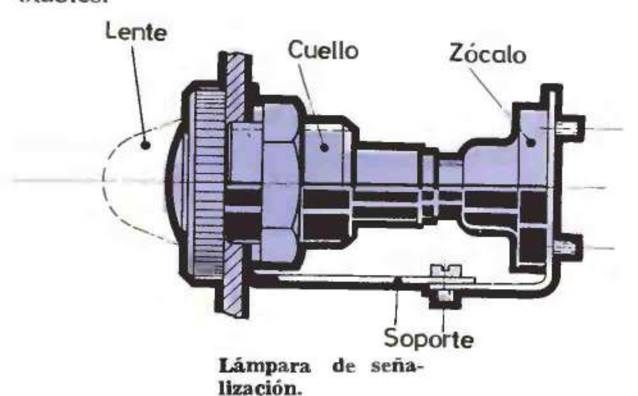
1. Elementos con botón pulsador de material aislante para uso normal.
2. Pulsador en forma de cabeza de hongo para casos de socorro, emergencia o seguridad.
3. Pulsador con flecha indicadora de posición que se enclava mecánicamente para establecer contactos permanentes.
4. Pulsador con llave y cerradura, para evitar que sea accionado por personal no autorizado.

Los pulsadores se montan directamente en la plancha frontal del cuadro, tal como indica la figura.

Generalmente constan de una cámara de contactos sobre la cual pueden montarse los distintos botones pulsadores. La figura representa una cámara de contactos y los distintos tipos de botón pulsador que se le pueden acoplar.

Las lámparas de señalización se montan en los cuadros con el fin de indicar la posición de *conectado* o *desconectado* de un interruptor o aparato de maniobra determinado. La figura muestra una lámpara de señalización y detalles de su montaje. Normalmente llevan una bombilla de 10 a 15 W de rosca enana o de bayoneta.

En la mayoría de los casos, las lámparas de señalización están formadas por tres piezas cambiables.



Lámpara de señalización.




Zócalo.



Lente y cuello.

ELECTRICIDAD

Acústica

Telegrafos. Sus tipos

Lineas telegráficas

Cables



LECCION Nº 24

telecomunicaciones alámbricas

1

Acústica. - Telégrafos. - Líneas



Emisor telegráfico tipo Morse.

Receptor de telegrafía Morse de últimos del siglo XIX. El mecanismo que sincroniza los impulsos eléctricos con el avance de la cinta está accionado por un motor de resorte.

ACUSTICA

La acústica es una ciencia tan vieja como el mundo y con la cual debemos estar familiarizados, ya que trata de todo lo concerniente a uno de nuestros sentidos más preciados, quizá el que nos proporciona sensaciones y satisfacciones más delicadas: el oído. Estudia y nos enseña las leyes que rigen la transmisión del pensamiento por la conversación y la audición. Su nombre se origina en la palabra griega Αχουστιχα, cuyo significado es: las cosas del sonido; se presenta en nosotros desde el instante en que pretendemos conocer los fenómenos y el ambiente que nos rodea y en el cual vivimos.

Es preciso reconocer que la acústica, en sus primeros tiempos, es empírica o puramente teórica y matemática. No alcanzó la categoría de

ciencia hasta principios del siglo XX, después de la aparición del teléfono y, con él, los sistemas de medida que le eran necesarios. Entonces la acústica se convierte en el centro y vínculo unificador de un amplio haz de técnicas, de las cuales el sonido es la sustancia común.

Después de medio siglo, el sonido ha podido ser identificado y medido, y entonces hemos empezado a conocer toda su complejidad y riqueza. Definido, analizado, cuantificado por los físicos, ha sido sometido a los estudios rigurosos de los matemáticos. Por otro lado, los arquitectos han podido analizar las características hasta ahora misteriosas del genial empirismo —cuyos efectos admiramos— de las magníficas condiciones acústicas que reúnen los monumentos antiguos. Hemos tenido la suerte de aprender a reconocer la importancia de la noción de reverberación y definir el mecanismo del aislamiento sonoro, que han conducido a reglas hoy familiares a los técnicos de la construcción.

De esta forma se bosquejan, después de un largo eclipse, los progresos de la construcción racional en los edificios privados y públicos (teatros, salas de conferencias, auditorios musicales, edificios religiosos, estudios radiofónicos, etc.).

Los dominios de la audición y de la fonación, que son también los de la telefonía, considerados como medios de transmisión del pensamiento, base de la moderna cibernética, han sido estudiados sistemática y correlativamente. El análisis de la voz, la evaluación y la corrección de la sordera han beneficiado y contribuido en gran manera al progreso de la humanidad.

Finalmente, los ruidos, expresión sensible de la mecanización acelerada y desordenada de nuestras actividades, han llamado la atención de los poderes públicos, que se esfuerzan en reducir sus nefastos efectos.

Estas pocas realizaciones (teléfono, medición de sonidos, etc.) escogidas entre muchas otras de la acústica moderna, muestran la necesidad que existe para el técnico, incluso para el no especializado, de sumergirse en los problemas relacionados con los diversos aspectos del sonido y conocer sus datos y caracteres, sus desarrollos y sus leyes.

El objeto de estos *elementos de acústica* es precisamente intentar informar a quienes se apasionan por los aspectos científicos de la vida moderna, y dar unas nociones básicas para la comprensión del estudio de la telefonía.

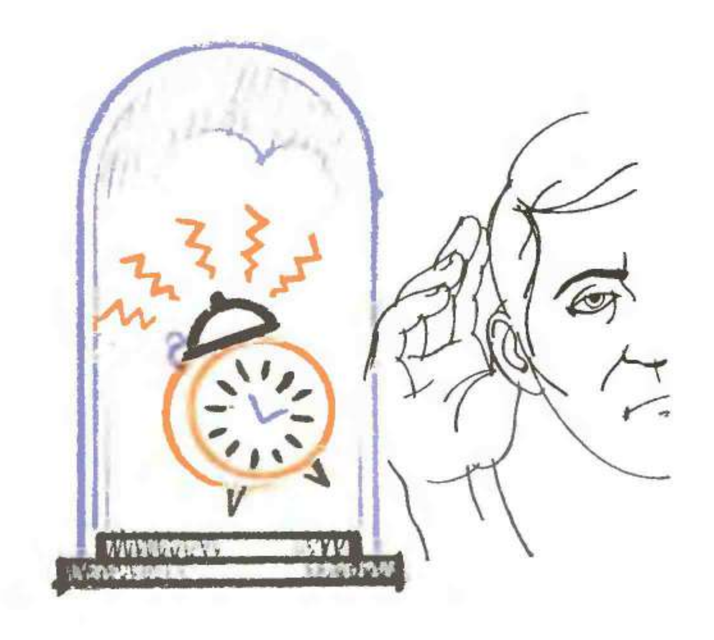
Todas las teorías, leyes y datos que expondremos en este capítulo se deben a los clásicos y a los fundadores de la acústica moderna, que ha alcanzado ya un alto grado de madurez.

ACUSTICA TEORICA
NATURALEZA DEL SONIDO

El sonido está vinculado al estremecimiento de un medio material, sólido, líquido o gaseoso. El estremecimiento se traduce en una vibración de las partículas del medio alrededor de su posición de reposo. En general y a excepción del caso de las explosiones, tiene el carácter de un movimiento alternativo, periódico, complejo, que puede ser descompuesto en movimientos elementales senoidales, característicos de sonidos elementales de frecuencia única llamados puros. ESTA FRECUENCIA ES EL NÚMERO DE OSCILACIONES POR SEGUNDO DEL MOVIMIENTO CONSIDERADO.

La causa del sonido es la vibración de los cuerpos, que se propaga por ondas a través de un medio elástico (generalmente aire) hasta llegar a impresionar nuestro oído.

Un experimento muy sencillo nos demuestra cómo no se propaga el sonido en el vacío; basta colocar un timbre en el interior de una campana que comunique con una máquina neumática, la cual sirve para extraer el aire del interior de la campana. A medida que disminuye la cantidad de aire en la campana, el sonido se percibe más débilmente; y cuando la campana se encuentra prácticamente sin aire, no es posible percibir el sonido.



Las vibraciones del cuerpo sonoro se transmiten a la masa del aire que le rodea, originando ondas esféricas longitudinales. En efecto, la perturbación producida en un punto por el cuerpo sonoro comprime la masa de aire que le rodea, dando lugar a una contracción, la cual, por reacción elástica, origina una expansión que obliga a comprimirse a las capas próximas de aire; y así sucesivamente, por contracciones y expansiones en el sentido de propagación del movimiento ondulatorio, se transmite el sonido. Tengamos, además, presente que en este movimiento ondulatorio el aire no se traslada y únicamente varían las presiones en cada punto afectado por las ondas.

CLASIFICACION DE LOS SONIDOS

Los sonidos se clasifican en:

- **Sonidos**
  - **puros**
    - **audibles**
    - **ultrasonidos**
    - **infrasonidos**
  - **complejos**

Los sonidos audibles puros tienen una frecuencia comprendida entre dos límites, generalmente evaluados entre 20 ó 25 Hz (hertz, o períodos por segundo), y 20.000 Hz; para oídos jóvenes y sonidos muy intensos, el límite superior puede llegar hasta 25.000 Hz y excepcionalmente alcanzar 30.000 Hz, lo cual representa un dominio que cubre un intervalo de diez octavas. Por encima del límite superior está el campo de los ultrasonidos; por debajo del límite inferior, el de los infrasonidos y las vibraciones mecánicas.

Por lo general los sonidos son complejos; es decir, que pueden descomponerse en un número finito o infinito de componentes, los cuales pueden ser:

1. De frecuencias que son múltiplos de la del componente de frecuencia más baja. El componente de frecuencia más baja recibe el nombre de fundamental; los demás componentes, cuya frecuencia es múltiplo de la de éste, reciben el nombre de armónicos.
2. De frecuencias cuya relación entre ellas puede ser un número cualquiera, incluso irracional. Estas reciben el nombre de parciales.

CUALIDADES DEL SONIDO

El sonido se caracteriza subjetivamente por tres cualidades esenciales: el tono, el timbre y la intensidad.

Tono

Tono de un sonido es el número de vibraciones por segundo de su componente predominante. El oído atribuye cierto tono a los sonidos y los clasifica en agudos, medios y graves. La experiencia ha demostrado que cuando dos sonidos son juzgados de igual tono por el oído son de la misma frecuencia.

De dos sonidos de distinto tono el más agudo es de mayor frecuencia, de donde se deduce la regla: el tono fisiológico de un sonido está expresado o definido numéricamente por su frecuencia.

Timbre de un sonido

Es una cualidad fisiológica del sonido: al recibir el oído sucesivamente varios sonidos del mismo tono los distingue con facilidad. El timbre depende de las intensidades y del tono del sonido fundamental y de los armónicos. La audibilidad normal está comprendida entre 14 y 20.000 Hz o ciclos por segundo. El intervalo óptimo de las sensaciones auditivas se extienden desde 1000 hasta 2000 ciclos por segundo; y el oído, que funciona por variaciones de presión, puede percibir en este intervalo un sonido que produzca una subpresión del orden de 0'001 bario (1 bario = = 0'001972 gramos/cm^2).

Intensidad acústica

Es la potencia mecánica transportada por el sonido. Debemos distinguir entre la intensidad acústica y la intensidad sonora o auditiva. Esta es la intensidad de la sensación percibida por el oído receptor; tiene, pues, un valor puramente subjetivo, ya que depende de la mayor o menor capacidad auditiva del sujeto receptor del sonido.

Velocidad del sonido

Es la velocidad de propagación de la onda sonora, la que representaremos por *a*. A continuación damos una tabla de velocidad del sonido en el aire en función de la temperatura.

Normalmente se toma para el valor de la velocidad del sonido $a = 340$ m/seg, que corresponde a una temperatura de 15° C.

Muchas veces, casi siempre, el aire no es un medio homogéneo para la propagación del sonido, puesto que la temperatura y el viento ejercen gran influencia en su propagación.

VELOCIDAD DE PROPAGACION DEL SONIDO EN EL AIRE

Temperatura en grados C	Velocidad del sonido en m/seg.	Temperatura en grados C	Velocidad del sonido en m/seg.
— 20	319'3	+ 10	337'8
— 10	325'6	+ 15	340'—
0	331'8	+ 20	343'8
		+ 40	355'3

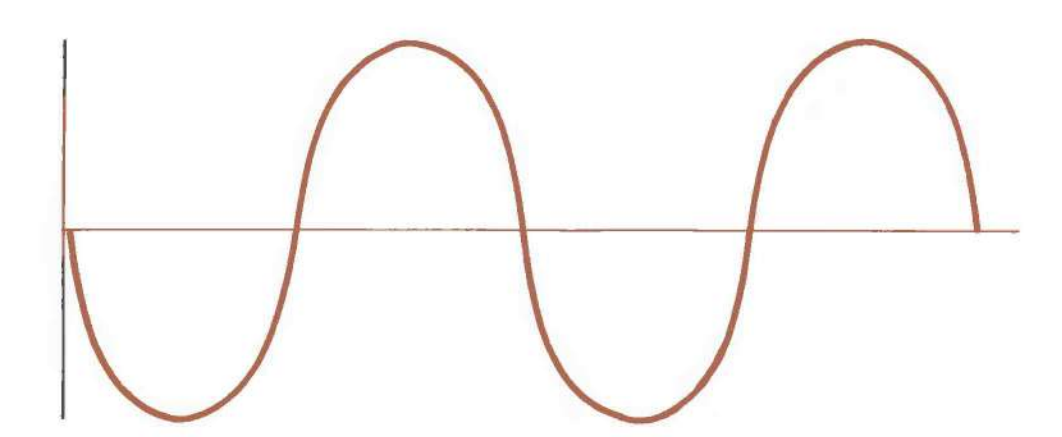
ACUSTICA SUBJETIVA Y FISIOLOGICA

El sonido se debe físicamente a una vibración periódica y elástica de los elementos de un medio gaseoso, sólido o líquido alrededor de su posición de reposo. Desde el punto de vista de la audición presenta, como hemos visto, tres cualidades principales: el tono, definido por la frecuencia de la vibración; la intensidad acústica subjetiva, que depende de la intensidad física del sonido y de la impresión que produce en la sensibilidad del oído; el timbre, que depende de la composición espectral del sonido y que permite diferenciar los sonidos de igual tono.

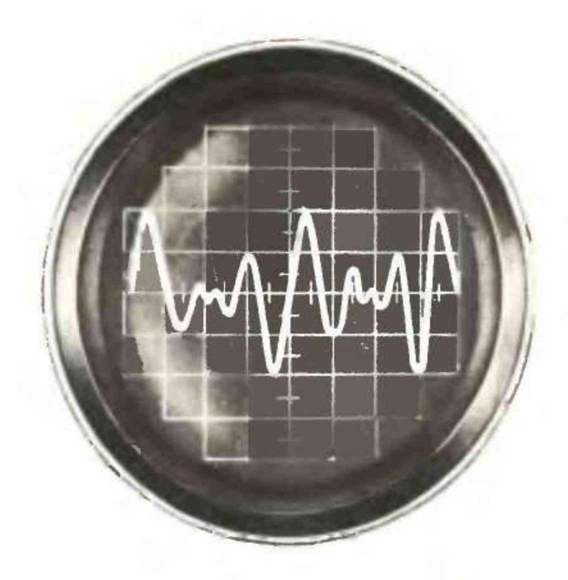
SONIDOS PUROS Y COMPLEJOS ARMONICOS

Un sonido recibe el nombre de puro cuando puede ser representado por una función senoidal simple. Cuando no ocurre así recibe el nombre de complejo, y entonces puede ser descompuesto analíticamente en una serie de sonidos elementales senoidales. En el caso de los sonidos agradables y musicales, las frecuencias de sus componentes tienen relaciones aritméticamente simples y su número es limitado.

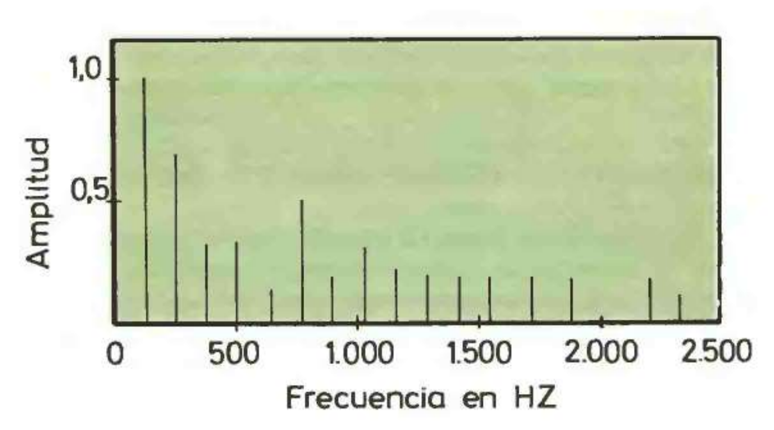
En la constitución de un sonido complejo distinguiremos los armónicos, cuyas frecuencias están en relación simple, y los parciales, cuyas frecuencias pueden estar entre sí en cualquier relación. Así, el análisis típico de una misma nota producida por un piano y por un tubo de órgano permite distinguir las dos estructuras, representadas oscilográficamente (forma de onda) y analíticamente (composición en armónicos y parciales), según que pueden verse en las figuras que adjuntamos a continuación.



Representación de un sonido puro.



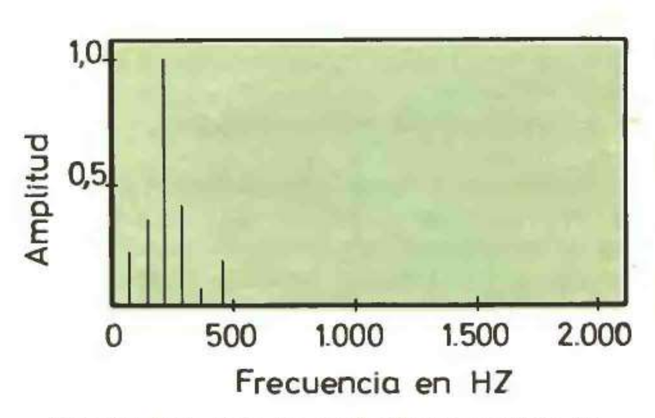
Oscilograma de la nota Do, producida por un piano.



Espectro de la nota Do, producida por un piano



Oscilograma de la nota Do, producida por un tubo de órgano



Espectro de la uota Do, producida por un tubo de órgano.

En estos espectros y oscilogramas podemos ver que la nota *do* emitida por un tubo de órgano es más pura que la emitida por un piano, ya que tiene menos componentes que la segunda.

El tono del sonido se expresa en hertz o ciclos por segundo.

SONIDOS MUSICALES

GAMA NATURAL O DE ZARLIN

Los sonidos de frecuencia pura pueden combinarse para producir sensaciones agradables y armoniosas para el oído. Se sabe desde la antigüedad que una de las bases de la armonía es una relación simple entre los tonos de los sonidos tocados simultáneamente. Esta relación simple, llamada intervalo musical, debe ser prácticamente la de los números enteros simples: 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9. Dos sonidos cuya relación es 2 reciben el nombre de octava. La escala natural de los intervalos musicales en una misma octava será, pues:

Do	*re*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	*do*
1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2

Una nota sostenida se obtiene multiplicando su tono por 25/24 y una nota bemol por 24/25. La adopción de los sostenidos y bemoles introduce en la gama 14 notas distintas, además de las 8 normales, que suman un total de 22 notas, incompatibles con la construcción de los instrumentos de sonidos fijos, que resultan acromáticos.

INTENSIDAD DE UN SONIDO. SU APRECIACION POR EL OIDO

La experiencia muestra que el oído, lo mismo que la mayoría de nuestros órganos sensoriales, no funciona linealmente. Nuestras impresiones sonoras obedecen aproximadamente a la ley de Weber-Fechner; es decir, que varían siguiendo una progresión aritmética cuando las excitaciones físicas que las causan, varían siguiendo una progresión geométrica. La ley de Weber-Fechner dice que la sensación varía como el logaritmo de la intensidad de la excitación.

$$S = \log \frac{E}{E_0}; \; S = k \log \frac{E}{E_0}$$

E es la intensidad física correspondiente al sonido considerado.
E_0 es la intensidad correspondiente a una sensación nula.
k coeficiente de proporcionalidad.

Por razones prácticas, el coeficiente *k* y la base de los logaritmos se han escogido de tal forma que la variación de una unidad en el valor de S corresponda a la menor variación posible de intensidad audible en las condiciones normales de escucha. En la práctica, razones físicas y de simplicidad matemática han conducido a adoptar para *k* el valor 10 y el sistema de logaritmos decimales. S está expresado entonces en decibelios.

Siendo:
v la velocidad correspondiente al sonido considerado;
p la presión correspondiente al sonido considerado;
v_0 velocidad correspondiente a una sensación nula;
p_0 presión correspondiente a una sensación nula.

Tendremos:

$$N \text{ decibelios (dB)} = 10 \log \frac{E}{E_0} = 20 \log \frac{P}{P_0} = 20 \log \frac{v_0}{v}$$

El nombre de bel se ha utilizado en honor de uno de los pioneros del teléfono, Graham Bell, para caracterizar el número resultante de la transformación:

$$B \text{ (bel)} = \log \frac{E}{E_0} = 2 \log \frac{P}{P_0} = 2 \log \frac{v}{v_0}$$

En la práctica, por ser el bel excesivamente elevado en relación a la sensibilidad diferencial del oído, se utiliza el decibelio, que es la décima parte del bel.

Desgraciadamente, el decibelio se encuentra en competencia con otra unidad llamada neper. La definición del neper se deduce del estudio de la propagación de las corrientes telefónicas en dos circuitos homogéneos, donde la atenuación entre dos puntos 1 y 2 distantes X kilómetros se mide por el logaritmo neperiano de la relación de las intensidades eléctricas I_1 e I_2 y de las diferencias de potencial U_1 y U_2 en estos dos puntos.

$$b \text{ (neper)} = \log \frac{I_1}{I_2} = \log \frac{U_1}{U_2}, \text{ mientras que}$$

en decibelios esta relación será:

$$n \text{ (dB)} = 20 \log \frac{I_1}{I_2} = 20 \log \frac{U_1}{U_2}$$

Prácticamente un neper equivale a 8'686 decibelios y un decibelio equivale a 0'115 neper.

LIMITE DE AUDICION

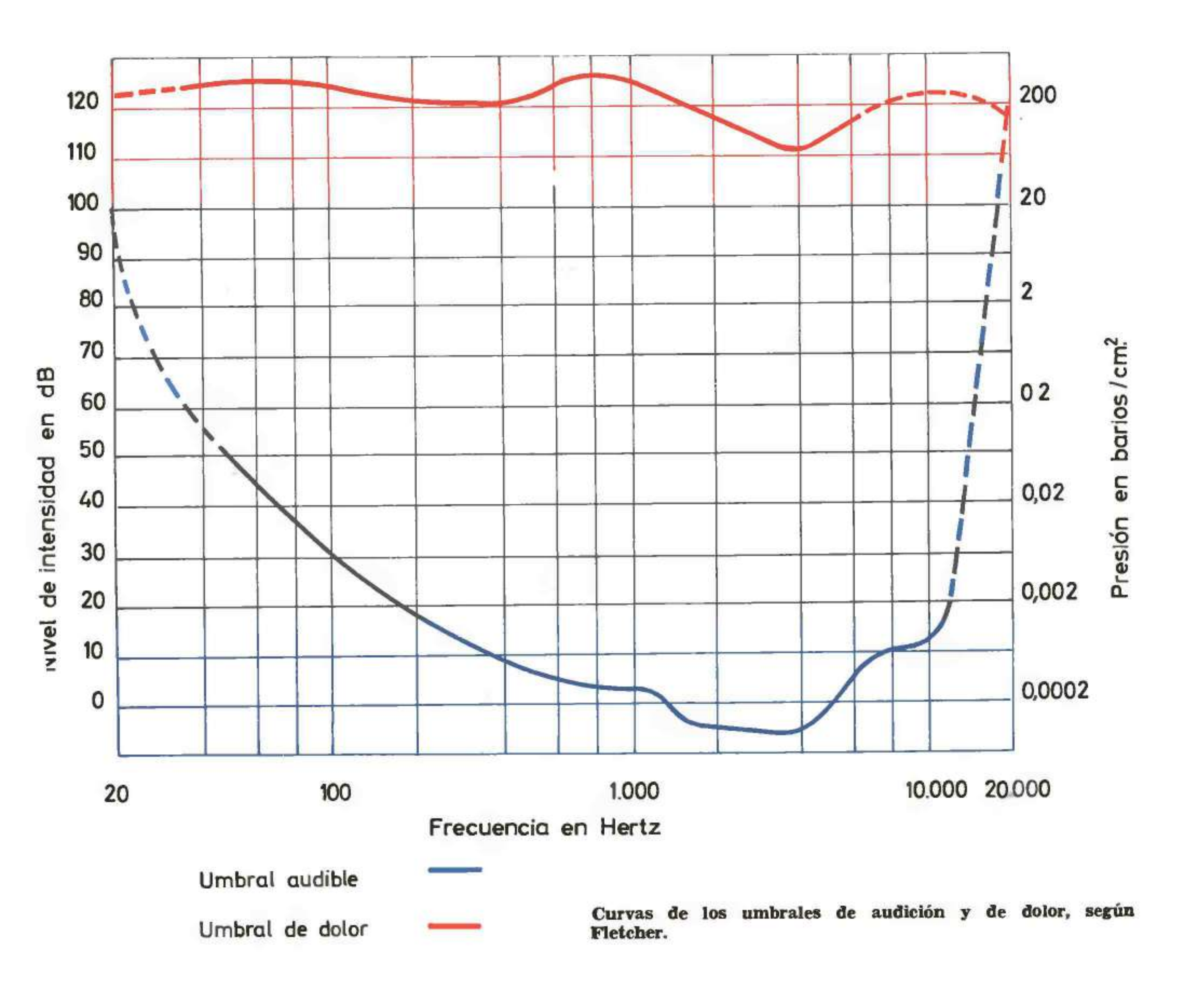
Cuando situamos el oído en el campo de una onda acústica de frecuencia pura que se propaga libremente, y en la cual regulamos la intensidad I (vatios/cm²) partiendo de 0 por valores continuamente crecientes —es decir, partiendo del silencio—, alcanzamos un valor I_{sa} para el cual el oído empieza a percibir una sensación. Decimos que I_{sa} corresponde al umbral de la audición para la frecuencia considerada.

Si seguimos aumentando la intensidad, llega

un momento, para valores muy elevados de I_1, en que en vez de sonido percibimos una sensación dolorosa. Entonces decimos que hemos alcanzado el umbral del dolor para la frecuencia considerada, el cual marca el límite de las sensaciones soportables.

Efectuando la misma operación para las diversas frecuencias audibles, obtenemos dos curvas, S_a y S_d, correspondientes al umbral del dolor (S_d) y al umbral audible (S_a). Estas curvas, referidas a dos ejes coordenados graduados en frecuencias y en intensidades (traducidas logarítmicamente en decibelios), delimitan el campo de la audición.

La superficie encerrada dentro de los límites de sensación audible y dolorosa recibe el nombre de superficie auditiva; contiene todos los tonos audibles de cualquier frecuencia e intensidad.



Curvas de los umbrales de audición y de dolor, según Fletcher.

UNIDAD DE INTENSIDAD ACUSTICA SUBJETIVA

EL FONO

En razón a que la sensación auditiva no sigue estrictamente la intensidad física y que esta última, aunque se exprese logarítmicamente en decibelios, no puede expresar de modo conveniente la impresión de intensidad subjetiva, dos sonidos de frecuencia baja, o elevada, pueden parecer menos fuertes que otros sonidos de frecuencia media e igual intensidad.

Para traducir una intensidad subjetiva en un número más representativo se utilizan un sonido y una frecuencia de referencia.

Este método se basa en la comparación subjetiva del sonido o ruido estudiado, y normalmente percibido, con el sonido de referencia, que es un sonido puro de frecuencia 1000 Hz. Este sonido se supone emitido en forma de ondas planas y escuchado con los dos oídos por un operador y de frente al plano de la onda que se propaga hacia él. Este operador regula la intensidad de la onda de frecuencia 1000 Hz, de tal forma que ésta le procura una sensación de intensidad subjetivamente equivalente a la del sonido estudiado. El nivel N_s, en decibelios, de la intensidad del sonido en la onda libre expresa entonces (convencionalmente en fonos) la intensidad acústica subjetiva del sonido estudiado.

Así, pues, el fono supone una comparación subjetiva que tiene en cuenta el efecto de difracción de la cabeza y las propiedades sensoriales del oído del operador. Se distingue del decibelio en que traduce convencionalmente, en forma puramente matemática, la relación de dos intensidades, o sea, de dos magnitudes físicas.

Efecto de la duración de los sonidos sobre su intensidad subjetiva

La duración de la audición de un sonido influye en la sensación de intensidad percibida. Esta es una función creciente de la duración; después pasa por un ligero máximo, decrece un poco y sigue prácticamente constante. Este máximo se alcanza para una duración de 200 milésimas de segundo.

Si relacionásemos la sensación sonora provocada por una impulsión y la duración de la misma, observaríamos que la sensación máxima tiene una duración de 0'2 segundos.

TELECOMUNICACIONES ALAMBRICAS

Las telecomunicaciones alámbricas pueden dividirse en dos grandes grupos: telegrafía y telefonía. Primeramente nos ocuparemos de la telegrafía.

TELEGRAFIA

Definimos la telegrafía diciendo que es la técnica que reúne todos los sistemas encaminados a transmitir a distancia un texto, documento o dibujo, sin que se efectúe el transporte material del original.

Existen distintos sistemas para la transmisión telegráfica; los que, según su orden creciente de perfección en la reproducción, son:

Transmisiones por código alfabético, sin reproducción de las formas.

Transmisiones autográficas, con reproducción de la escritura manuscrita.

Transmisiones en facsímil, con reproducción de documentos en blanco y negro.

Fototelegrafía; transmisión de fotografías.

El desarrollo del telégrafo se debe a una serie de inventores que poco a poco, a partir de finales del siglo XVIII, fueron descubriendo los distintos sistemas y aparatos que permitieron alcanzar la calidad en las transmisiones que disfrutamos hoy día.

A finales del siglo XVIII un español, Francisco Salvá, realizó la transmisión de un parte utilizando para ello la descarga de condensadores. Estamos, pues, frente al telégrafo electrostático. Al mismo tiempo que los trabajos de Salvá, el suizo Lesage, en Ginebra, inventaba el telégrafo electrostático multifilar, aparato que, en esencia, era casi idéntico al de Salvá.

En el año 1820 se descubre el electroimán, aparato que tanta importancia tiene para el posterior desarrollo del telégrafo.

Gaun y Weber, en el año 1833, inventan el telégrafo electromagnético. Entre los años 1832 y 1844 se inventa y desarrolla el telégrafo Morse.

En 1855 Hughes desarrolla el primer telégrafo impresor. Ocho años más tarde se pone en servicio en la línea París-Lyon el primer teleautógrafo, o sea, con transmisión de documentos manuscritos. El año 1870 aparece el telégrafo armónico de Laborde, aparato múltiplex en frecuencia.

En 1876 Baudot desarrolla el telégrafo múltiple con código de cinco momentos.

En 1920, debido a Morkrum-Kleinschmitt, hace su aparición el teleimpresor arrítmico. El telégrafo ha llegado ya a su mayoría de edad.

Es de notar que Polybe (griego), quinientos años antes de Jesucristo, utilizó el código de momentos, base del sistema Baudot y de otros.

Uniones telegráficas

La transmisión telegráfica de un documento se efectúa mediante una o varias uniones telegráficas sucesivas. Un cambio de unión en un punto de la transmisión es un tránsito. En un punto de tránsito se efectúa la reconstitución del documento transmitido.

Decimos que hay unión telegráfica entre dos puntos cuando es posible transmitir telegráficamente, entre estos puntos, un documento sin reconstitución intermediaria del documento. Una unión consiste en una o varias comunicaciones telegráficas, y puede ser uni o bilateral (transmisión en un solo sentido o en los dos sentidos); en caso de ser bilateral puede ser símplex o dúplex. En una comunicación bilateral símplex no es posible efectuar la transmisión simultánea en los dos sentidos; para que ello sea posible la unión debe ser bilateral y dúplex.

Una comunicación telegráfica es el conjunto de medios y materiales para realizar una unión telegráfica. Una comunicación telegráfica entre dos puntos A y B precisa necesariamente:

En A, un aparato emisor (unilateral) y un aparato receptor si es bilateral.

En B, un aparato receptor (unilateral) y un aparato emisor si la comunicación es bilateral.

Entre A y B, un medio físico que pueda propagar ciertos fenómenos eléctricos, en el sentido AB (unilateral) y en el sentido BA si es bilateral.

Este medio físico constituye *la vía de comunicación* entre A y B, la cual puede consistir en varias *secciones de vía* reunidas por las llamadas *traslaciones*.

TELEGRAFIA SIN REPRODUCCION DE LA FORMA

La telegrafía sin reproducción de la forma tiene por objeto la transmisión de cierto número de *signos*. Por una parte, caracteres gráficos que dan lugar a una impresión a la hora de la reconstitución del mensaje; por otra parte, la indicación de maniobras a realizar en el extremo receptor (espacio, cambio de línea, error, etc.).

A cada signo corresponde una perturbación eléctrica determinada de la vía de comunicación. Esta perturbación es la *señal telegráfica*. La tabla de correspondencia entre signos y señales constituye el alfabeto telegráfico. La transmisión pone en juego, en la vía de comunicación, el paso de una corriente continua (las perturbaciones consisten en cortes, conexiones o inversiones de esta corriente) o el de una corriente alterna (en este caso las perturbaciones consisten en cortes o defases y aun variaciones bruscas de frecuencia de esta corriente que recorre la vía de comunicación telegráfica.

SISTEMAS TELEGRAFICOS UTILIZADOS. SISTEMA MORSE

En el sistema Morse cada señal se compone de elementos cortos llamados puntos y elementos largos llamados rayas. Cada raya tiene una duración igual a tres puntos; espacios cortos de duración igual a un punto separan los elementos de una letra. Las letras de una palabra están separadas por un espacio equivalente a tres puntos, y las palabras entre sí por un espacio de cinco puntos. Las combinaciones de señales cortas y largas están dispuestas de tal manera que forman un código o alfabeto. Existen dos alfabetos de este tipo: el Morse, que se emplea en América, y el Continental, empleado en Europa, con diferencias sustanciales entre ambos.

SISTEMA DE CINCO MOMENTOS (SISTEMA BAUDOT)

En este sistema el tiempo asignado a cada letra se divide en cinco intervalos. Durante cada intervalo se transmiten dos condiciones posibles, es decir: corriente o falta de corriente; corriente positiva o corriente negativa. Este sistema permite 32 combinaciones, que se utilizan para las 26 letras del alfabeto, espacio, retorno del carro, dar papel y elevar los tipos para disponer de un juego de caracteres, alternando con las letras. Para la sincronización del transmisor y el receptor se utiliza un sistema de arranque y parada que encuadra cada letra. A continuación reproducimos el código Baudot de cinco impulsos. Un círculo negro representa la transmisión de una condición durante el correspondiente intervalo y un círculo blanco la condición alternativa.

ALFABETO MORSE

LETRAS	
A	•—
B	—•••
C	•••
D	—••
E	•
F	•—•
G	——•
H	••••
I	••
J	—•—•
K	—•—
L	—
M	——
N	—•
O	• •
P	•••••
Q	••—•
R	• ••
S	•••
T	—
U	••—
V	•••—
W	•——
X	•—••
Y	•• ••
Z	••• •
&	• •••

NUMEROS	
1	•——•
2	••—••
3	•••—•
4	••••—
5	———
6	••••••
7	——••
8	—••••
9	—••—
0	—

SIGNOS CONVENCIONALES

punto	.	••——••
dos puntos	:	—•— ••
punto y coma	;	•—•—•
coma	,	•—•—
interrogante	?	—••—•
admiración	!	———•
paréntesis	( )	•—••—

ALFABETO MORSE CONTINENTAL

LETRAS	
A	· —
B	— · · ·
C	— · — ·
D	— · ·
E	·
É	· · — · ·
F	· · — ·
G	— — ·
H	· · · ·
I	· ·
J	· — — —
K	— · —
L	· — · ·
M	— —
N	— ·
O	— — —
P	· — — ·
Q	— — · —
R	· — ·
S	· · ·
T	—
U	· · —
V	· · · —
W	· — —
X	— · · —
Y	— · — —
Z	— — · ·

NUMEROS	
1	· — — — —
2	· · — — —
3	· · · — —
4	· · · · —
5	· · · · ·
6	— · · · ·
7	— — · · ·
8	— — — · ·
9	— — — — ·
0	— — — — —

SIGNOS CONVENCIONALES

punto	.	· — · — · —
coma	,	— — · · — —
dos puntos	:	— — — · · ·
interrogante	?	· · — — · ·
guión	–	— · · · · —
barra	/	— · · — ·
paréntesis	( )	— · — — · —
comillas	"	· — · · — ·
igual	=	— · · · —
comprendido		· · · — ·
error		· · · · · · · ·
fin de transmisión		· — · — ·
invitación a tras.		— · —
espera		· — · · ·
principio		— · — · —
fin de trabajo		· · · — · —

1	•—
2	••—
3	•••—
4	••••—
5	•••••
6	—••••
7	—•••
8	—••
9	—•
0	—

CODIGO BAUDOT DE CINCO MOMENTOS

Letras	Signos y cifras	Impulso						
		Puesta en marcha	1	2	3	4	5	Paro
A	-	○	●	●	○	○	○	●
B	?	○	●	○	○	●	●	●
C	:	○	○	●	●	●	○	●
D		○	●	○	○	●	○	●
E	3	○	●	○	○	○	○	●
F		○	●	○	●	●	○	●
G	%	○	○	●	○	●	●	●
H		○	○	○	●	○	●	●
I	8	○	○	●	●	○	○	●
J		○	●	●	○	●	○	●
K	(	○	●	●	●	●	○	●
L	)	○	○	●	○	○	●	●
M	.	○	○	○	●	●	●	●
N	,	○	○	○	●	●	○	●
O	9	○	○	○	○	●	●	●
P	0	○	○	●	●	○	●	●

Letras	Signos y cifras	Impulso						
		Puesta en marcha	1	2	3	4	5	Paro
Q	1	○	●	●	●	○	●	●
R	4	○	○	●	○	●	○	●
S	'	○	●	○	●	○	○	●
T	5	○	○	○	○	○	●	●
U	7	○	●	●	●	○	○	●
V	=	○	○	●	●	●	●	●
W	2	○	●	●	○	○	●	●
X	/	○	●	○	●	●	●	●
Y	6	○	●	○	●	○	●	●
Z	+	○	●	○	○	○	●	●
Retorno del carro		○	○	○	○	●	○	●
Cambio de línea		○	○	●	○	○	○	●
Letras		○	●	●	●	●	●	●
Cifras		○	●	●	○	●	●	●
Espacio		○	○	○	●	○	○	●

En los sistemas de descomposición del dibujo de los caracteres, cada carácter se descompone en un número fijo de puntos, reproducidos por un estado u otro, según sean negros o blancos (puntos negros, paso de corriente; puntos blancos, sin corriente; o bien, puntos negros positivos y puntos blancos negativos).

Los alfabetos abiertos —alfabeto Morse (sistema utilizado en Europa, ya que en América se utiliza el Morse cerrado)— transmiten un número cualquiera de señales, mientras que los alfabetos cerrados (sistemas de cinco momentos) solamente permiten transmitir un número limitado de señales. Las posibilidades de los alfabetos cerrados se aumentan sacrificando dos señales para la inversión; de esta forma se doblan sus posibilidades, ya que entonces, mediante la inversión, cada señal representa a la vez una letra y una cifra o una letra y un signo.

La modulación telegráfica consiste en la producción de las perturbaciones utilizadas para la transmisión. Durante la modulación el tiempo se divide por los llamados instantes característicos, en los que son producidas las perturbaciones, o elementos de modulación. La inversa de la duración de los elementos de modulación mide la rapidez de modulación; si la unidad de tiempo empleada es el segundo este valor se expresa en bands.

La comparación de dos vías de comunicación de distintos sistemas puede hacerse por la relación de su capacidad de transmisión, la cual se expresa en palabras por minuto, suponiendo que cada palabra está formada por cinco caracteres y un intervalo.

Casi siempre la modulación es recibida por un electroimán, en el cual los movimientos de la armadura hacen la restitución de la modulación. Decimos que una modulación es monovalente, bivalente o trivalente según que la armadura del electroimán tome una, dos o tres posiciones activas. La mayor parte de los aparatos son de modulación bivalente; el fenómeno eléctrico utilizado comporta un estado de reposo y otro de trabajo, exactamente igual a lo que sucede en un relé o contactor de dos posiciones.

El intervalo de tiempo entre un instante característico de la modulación y el instante correspondiente de la restitución es el retardo de la restitución.

APARATOS TELEGRAFICOS

Los aparatos telegráficos, según su función, pueden ser receptores o transmisores. Por regla general son, al mismo tiempo, receptores y transmisores.

APARATO EMISOR

Los aparatos emisores aseguran la *emisión*, es decir, la producción del fenómeno eléctrico para propagar las señales; la *modulación*, que consiste en situar los instantes característicos (y en fijar el carácter del elemento de modulación cuando éste es polivalente); la *manipulación*, practicada por un operador o una banda perforada; y la *selección*, que indica a los órganos de modulación la combinación a realizar, según los datos recibidos de la manipulación.

APARATO RECEPTOR

El aparato receptor asegura:

La *recepción*, efectuada por un órgano que transforma los fenómenos eléctricos provenientes de la vía de comunicación en cambios de estado mecánicos o de otras clases.

El *registro*, que hace que los fenómenos fugitivos puestos en obra a la recepción persistan el tiempo suficiente para que sea posible el reconocimiento de la señal recibida.

La *traducción*, que permite a cualquier persona desconocedora del alfabeto telegráfico reconocer el signo correspondiente a la señal recibida.

La *impresión*, que se ocupa de imprimir la señal recibida o su signo correspondiente.

Una serie de funciones auxiliares puede ser realizada también por algunos receptores: la *sincronización*, la *inversión*, la *progresión del papel* o la *puesta en página*.

En los aparatos simples sólo son automáticas la emisión y la recepción; el operador realiza las otras funciones. En los teleimpresores arrítmicos solamente es manual la manipulación.

La rapidez de la modulación de los aparatos telegráficos ha sido adaptada a las posibilidades de la manipulación humana. Es sabido que un mecanógrafo tiene una rapidez de pulsación de cinco pulsaciones por segundo; los operadores muy buenos, y excepcionalmente, llegan a seis pulsaciones por segundo. Un aparato telegráfico bien adaptado debe poder emitir seis señales por segundo para estar en consonancia con las posibilidades de agilidad y reflejos del manipulador.

TIPOS DE APARATOS TELEGRAFICOS

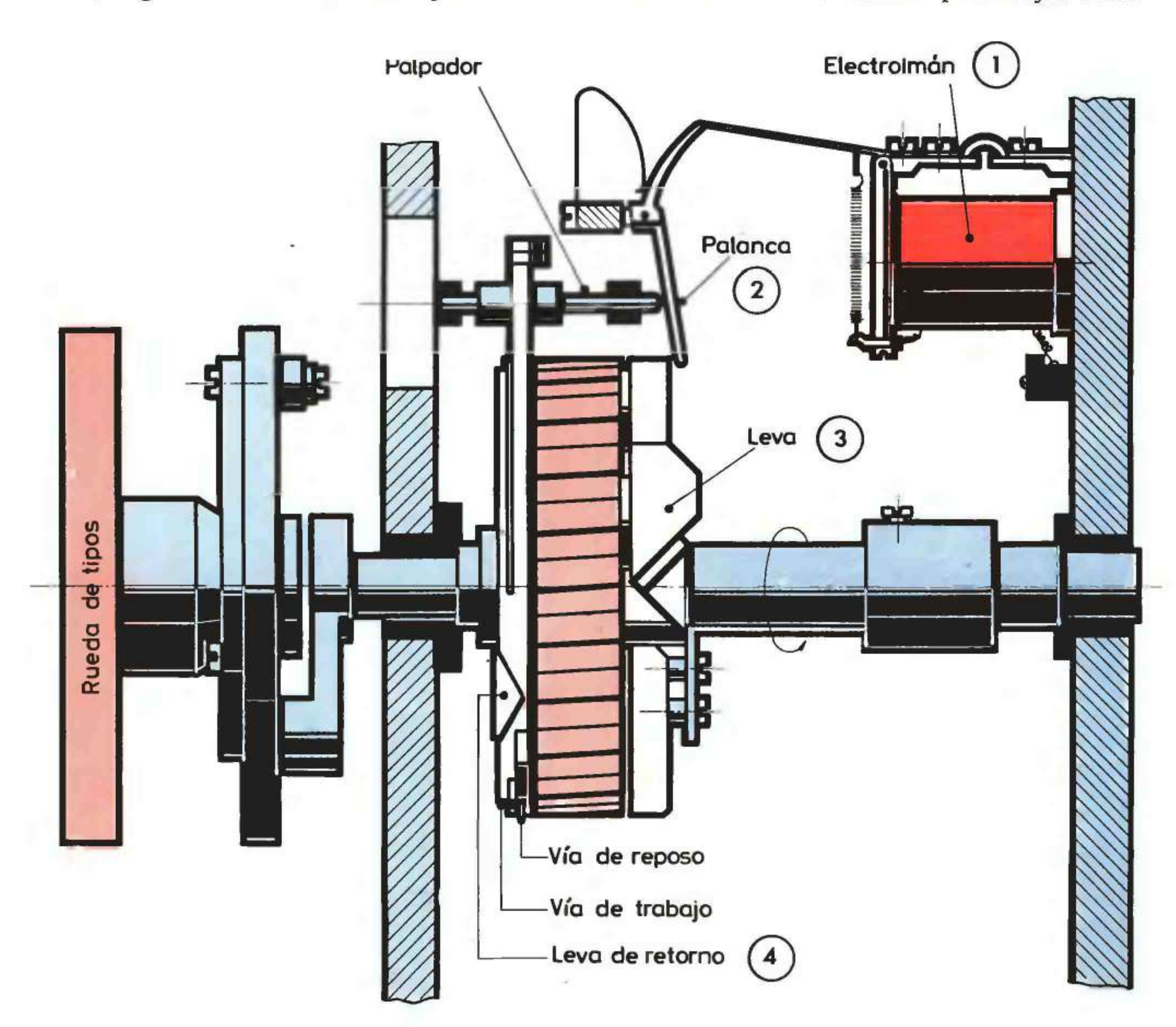
Aparato telegráfico Baudot

El Baudot es un aparato múltiple que utiliza un código de cinco momentos. Funciona siguiendo un ciclo rítmico y efectúa la impresión sobre banda.

En la emisión, la manipulación se efectúa mediante un teclado de cinco teclas, de enganche automático en la posición de trabajo. Cada tecla corresponde a un momento: la selección es manual. Este teclado sitúa las cinco polaridades de la señal a transmitir sobre cinco *plots* (contactos) consecutivos de un distribuidor que gira a velocidad constante. Un par de frotadores conecta sucesivamente estos *plots* (en el orden de los elementos a transmitir) a una corona conectada a la línea, asegurando así la modulación y la emisión. La figura representa un traductor Baudot.

En la recepción la línea se encuentra conectada sucesivamente a través de un distribuidor, que gira en sincronismo con el distribuidor del emisor, de cinco *plots* homólogos de los precedentes. Cinco electroimanes (1) conectados a estos *plots* atraen sus armaduras bajo la influencia de una corriente de trabajo, procedente de la línea, asegurando así la recepción. La atracción de estas armaduras permite la caída de las palancas (2); la posición del conjunto de estas palancas constituye un registro mecánico temporal de la combinación recibida.

Esta combinación se descifra en un combinador mecánico de traducción por ensayos sucesi-

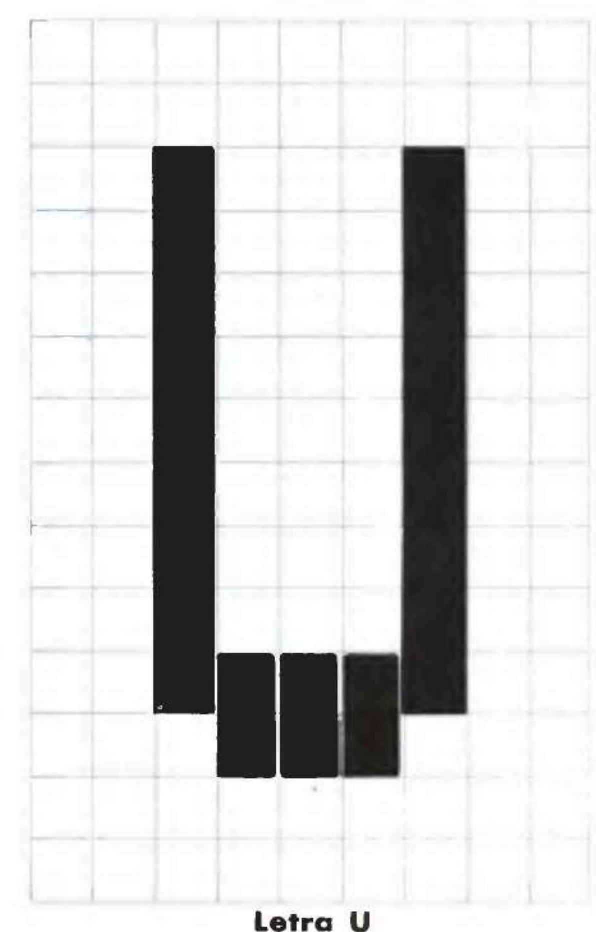


vos. Este combinador es explorado por un traductor, compuesto de cinco palpadores situados normalmente sobre la vía de reposo, pero que pueden ser colocados sobre la vía de trabajo mediante la leva (3); ésta proyecta contra ellos solamente las palancas (2), que están caídas, y las remonta. Por medio de un resorte, los palpadores basculan alrededor de un eje paralelo al árbol del distribuidor, pero solamente pueden hacerlo simultáneamente cuando todos encuentran un cruce en el combinador; este movimiento provoca el apriete de la banda de papel contra una rueda de tipos con los caracteres del alfabeto, cifras, signos diversos, etc. Los palpadores vuelven a la vía de reposo, al final de la traducción, mediante la leva de retorno.

Aparato Siemens-Hell

Este aparato descompone el dibujo de los caracteres en siete bandas de catorce puntos cada una. La figura muestra la descomposición de los caracteres en este aparato.

Estos aparatos teleimpresores disponen, en el emisor, de un teclado dactilográfico para su manipulación. Cuando el operador pulsa una tecla hace dar una vuelta a una leva (selección) que envía una corriente alterna a la línea para los puntos negros y corta esta corriente para los puntos blancos (modulación).



Letra U

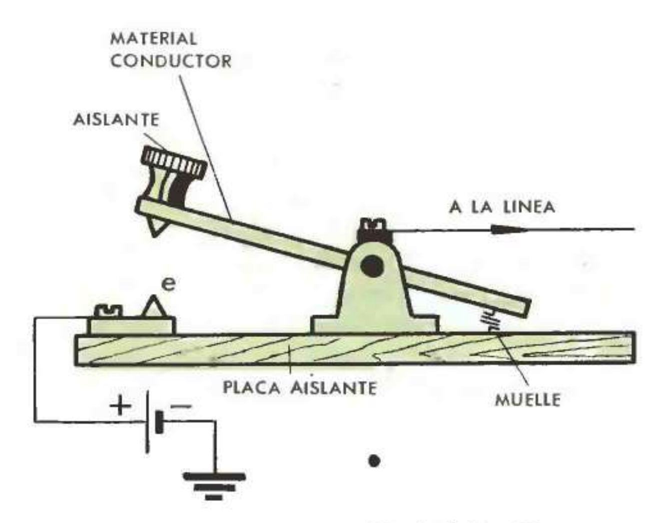
HELICE ENTINTADA
STO DOMINGO
STO DOMINGO
BANDA DE PAPEL
MUELLE

Esquema de un receptor Siemens-Hell.

En el receptor, un electroimán es accionado por las corrientes provenientes de la línea; al excitarse el electroimán atrae la armadura y aplica, por medio de una cuchilla, una cinta de papel contra una hélice entintada que da una vuelta durante la exploración de la banda (hay 7 bandas y 14 puntos) durante la emisión. El paso de esta hélice es igual a la altura de una banda.

La leva del emisor y la hélice de recepción giran en sincronismo.

Para que la emisión pueda efectuarse es necesaria una gran rapidez de modulación. Este sistema tiene la ventaja de ser poco sensible a las alteraciones de la modulación, por lo cual es muy indicado para las transmisiones por vías radioeléctricas.



Manipulador Morse.

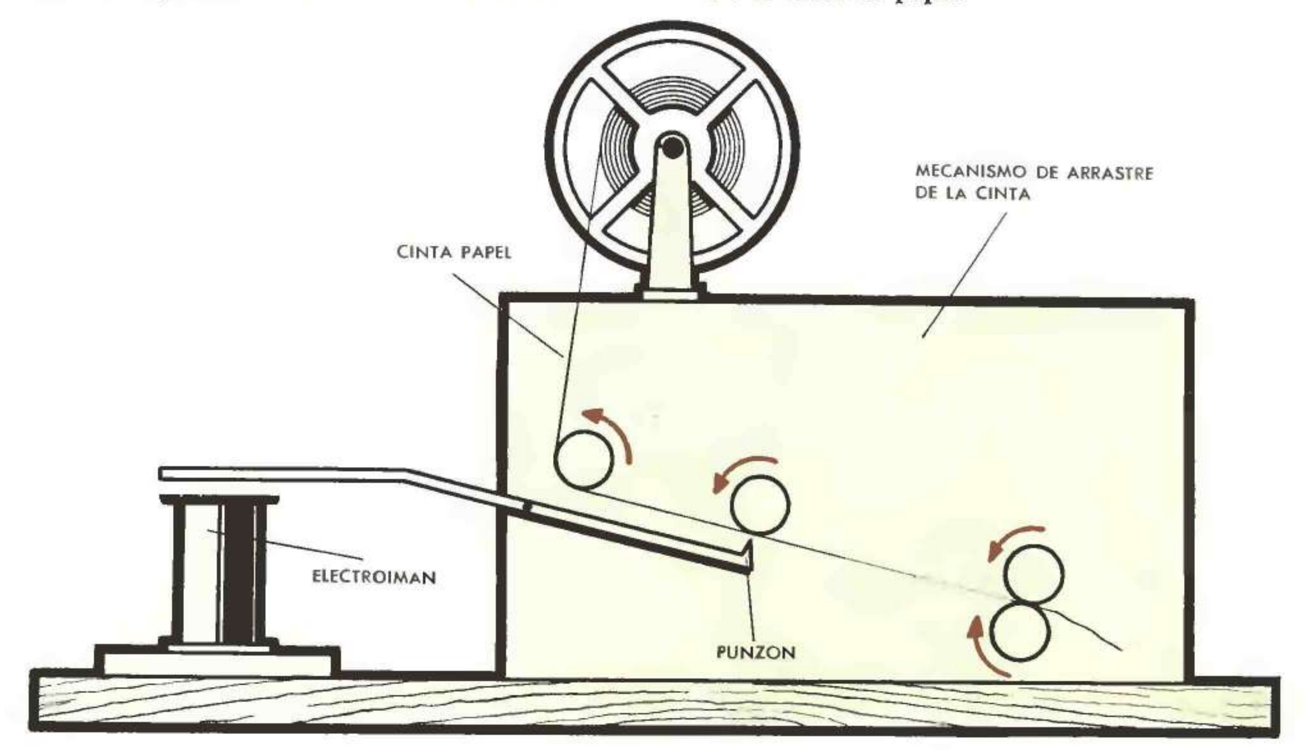
Aparato telegráfico Morse

El aparato transmisor Morse está formado por una palanca metálica que hace las veces de manipulador.

Al oprimir el manipulador cierra el contacto y envía la corriente de la pila a la estación receptora a través de la línea de unión. El retorno se hace generalmente por tierra, y en los ferrocarriles por el carril. El manipulador está provisto de un muelle que restituye la palanca a su posición de reposo cuando no se la oprime, lo que interrumpe el paso de la corriente.

El aparato receptor está formado por un electroimán cuyo arrollamiento está conectado a la línea. Este electroimán, formado por dos núcleos, lleva dos armaduras unidas a una palanca cuyo extremo está unido a un punzón inscriptor P. El punzón se apoya, cuando se excita el electroimán, sobre una cinta de papel que avanza con lentitud, mediante un mecanismo de relojería, mientras dura la comunicación. La velocidad de la cinta de papel es constante. La figura representa esquemáticamente la disposición de un telégrafo Morse.

Según sea corto o largo el contacto con el manipulador varían la duración de la corriente y la acción del punzón, marcando puntos o rayas, sobre la cinta de papel.



LINEAS DE TELECOMUNICACION

Exceptuando algunos circuitos de frecuencia muy baja, como los casos de telegrafía y señalización, o de frecuencia muy alta —éste es el caso de los cables coaxiales—, los circuitos de telecomunicación están formados por dos conductores idénticos. La unidad formada por el conjunto de los dos conductores recibe el nombre de *circuito* si se trata de líneas aéreas; y el de *par* si está formado por cables subterráneos.

En las uniones a distancias superiores a 30 kilómetros se combinan dos circuitos, llamados *circuitos reales*, para formar un tercer circuito, que recibe el nombre de circuito *combinado* o *fantasma*, en el otro sentido por los dos hilos del otro circuito. En las líneas aéreas la unidad formada por los cuatro hilos recibe el nombre de grupo, y en los cables el nombre, un tanto convencional, de cuadrete.

LINEAS AEREAS

El montaje de las líneas aéreas difiere según se trate de líneas urbanas o interurbanas.

Líneas urbanas

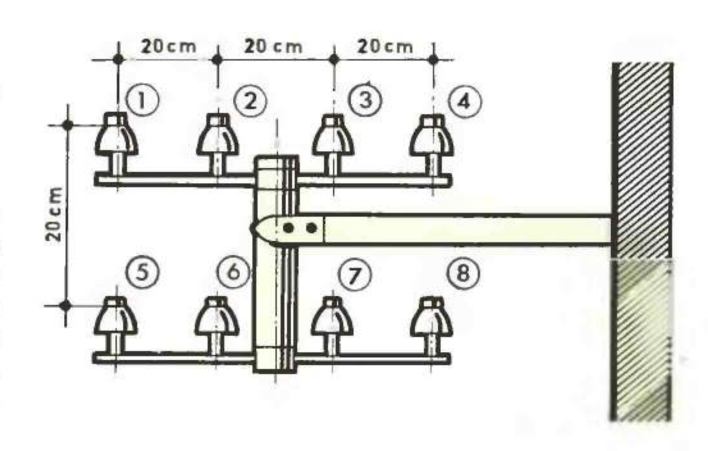
Las líneas urbanas están formadas por hilo de bronce desnudo de 75 kg/mm² de resistencia a la ruptura. El diámetro del hilo es de 1'1 mm en las líneas tendidas en las ciudades y de 1'5 mm de diámetro en las zonas menos pobladas. Los conductores están soportados por aisladores cementados sobre soportes metálicos fijos a palomillas o postes.

La distancia entre conductores es de 20 cm en sentido vertical y horizontal. Las líneas urbanas se montan en un plano; es decir, que los dos hilos de un mismo circuito están situados en un mismo plano horizontal; están separados por la distancia de 20 cm.

La figura representa un montaje urbano, con aisladores sobre palomilla metálica fija al muro.

En la figura los conductores que forman los circuitos se agrupan de la forma siguiente:

circuito 1: conductores 1 y 2;
circuito 2: conductores 3 y 4;
circuito 3: conductores 5 y 6;
circuito 4: conductores 7 y 8.



Líneas interurbanas

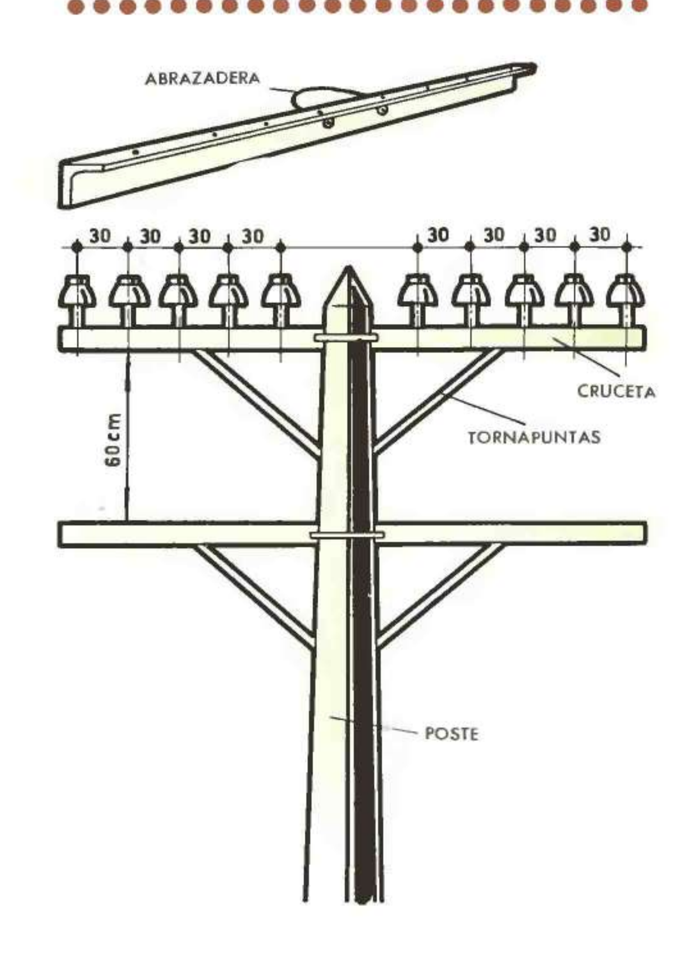
En las líneas interurbanas el conductor utilizado es de cobre duro, de 45 kg/mm² de resistencia a la rotura. Los diámetros utilizados son:

2 mm diámetro para los circuitos cortos;

2'5 mm diámetro para los circuitos de menos de 150 km;

3 mm diámetro para los circuitos de longitud superior a 150 km.

En los circuitos interurbanos los aisladores se fijan en crucetas montadas en postes de madera. Estas crucetas pueden ser metálicas o de madera. Las metálicas acostumbran estar formadas por hierro galvanizado en ángulo, fijas a los postes de madera directamente atornilladas o con abrazaderas metálicas.



En las líneas interurbanas por lo general cada poste lleva dos crucetas, que cuando son muy largas se refuerzan con tornapuntas.

La distancia entre conductores es 30 cm; y entre crucetas 60 cm.

Los postes acostumbran ser de madera impregnada con creosota, sulfato de cobre, etc.

La longitud de los postes oscila entre 6 y 12 m; su diámetro mínimo oscila entre 0'15 y 0'25 m. La parte enterrada de los postes tiene de 1'2 a 1'9 m. La altura mínima de los conductores sobre el suelo debe ser superior 3 metros.

Las líneas interurbanas se montan en diagonal; o sea, que los cuatro hilos de un grupo (hemos dicho que un grupo está formado por dos circuitos de dos conductores cada uno) ocupan los vértices de un cuadrado de 30 cm de lado. En los tendidos en línea recta la distancia entre postes es del orden de los 50 metros; pero es menor en las regiones azotadas por fuertes vientos.

Para el cálculo de los postes, resistencia mecánica y tendido de la línea se siguen los métodos y normas dados en el capítulo donde hemos estudiado las líneas aéreas.

CABLES PARA LINEAS DE TELECOMUNICACION

En las líneas de telecomunicación se utilizan cables para tendidos exteriores y subterráneos. Estos cables presentan distintas características, según las necesidades de utilización exigidas por el servicio, y por las condiciones físicas que se les exija soportar.

CABLES CON AISLAMIENTO DE PAPEL Y AIRE SECO

Formación y composición

La utilización de los cables con aislamiento de papel en las comunicaciones telefónicas se inició en 1890.

La fabricación del cable comienza aislando los conductores de cobre con cintas de papel enrolladas helicoidalmente sobre el conductor y solapadas, con lo que los bordes quedan superpuestos. Los conductores se diferencian entre sí por el color del papel o por el dibujo que lleva impreso. Existen ciertas clases de papel fabricado exclusivamente para ser empleado como aislante en los cables. En realidad, el papel solamente sirve como separador entre cables, ya que el aislante propiamente dicho es el aire seco alojado entre los conductores.

Una vez aislados individualmente los conductores se tuercen en pares o en cuadretes, conservando el debido paso de torsión para evitar, en los distintos circuitos, perturbaciones mutuas en la transmisión.

Los pares se cablean helicoidalmente en capas concéntricas, formando un haz que se envuelve con dos o más capas de papel grueso, como protección y aislamiento de la cubierta exterior.

La figura muestra distintas formas de cableado.



Cableado de 1 par.

Cableado de un cuadrete en estrella.

Entonces el cable, sin cubierta exterior (plomo), y enrollado en carretes metálicos, se introduce en autoclaves de secado por vacío y calor; una capa de aleación de plomo, la cual debe ser una vez terminada esta operación se cubre con perfectamente continua y exenta de poros. Esta cubierta, aparte de la protección mecánica del cable, tiene la misión de mantenerlo completamente aislado del exterior para evitar que penetre la humedad.

Características

Las características más importantes de los cables con aislamiento de papel y aire seco son:

1. Baja capacidad electrostática.
2. Aislamiento elevado.
3. Rigidez dieléctrica suficiente.
4. Gran duración y precio bajo.

Estas propiedades los hacen especialmente indicados para la transmisión de corrientes débiles, o sea, para telecomunicaciones.

Los cables con otros aislantes —goma, papel impregnado, etc.— son muy útiles para la transmisión de energía, donde las corrientes se cuentan por amperios y las tensiones por centenares o miles de voltios. Para corrientes débiles (telegrafía, telefonía, etc.) resultan en general excesivamente caros, o son inadecuados por sus grandes desequilibrios y elevada capacidad electrostática.

Los cables con aislamiento de papel tienen exigencias peculiares, esenciales para su utilización. Es necesario conservar siempre seco el interior del cable, lo que se consigue tomando precauciones sencillas, como parafinar y emplomar los extremos en los cortes hechos durante el tendido; hacer los empalmes terminales mediante el uso de unos metros de cable con aislamiento textil y usar cajas terminales y cajas de empalme para cables.

CONDICIONES QUE DEBE REUNIR UN CABLE BAJO PLOMO

Dos condiciones esenciales deben reunir los cables bajo cubierta de plomo:

1. Transmitir corrientes con el mínimo de pérdidas.
2. Evitar corrientes de interferencia mutua entre circuitos.

Para cumplir estas condiciones, un cable necesita tener las cualidades siguientes:

1. Estar construido de materias primas adecuadas.
2. Aislamiento suficiente entre conductores; paso de torsión que no perjudique mutuamente la transmisión.
3. Un secado conveniente y conservación en estas condiciones.
4. Poseer las características eléctricas y mecánicas y la flexibilidad conveniente para que su tendido sea fácil y económico.
5. Que el aislamiento sea el suficiente para que trabaje con un coeficiente de seguridad adecuado.

COMPOSICION Y ESPESOR DE LA CUBIERTA DE PLOMO

La vida eventual de cualquier cable depende, principalmente, de su cubierta de plomo; por esta razón deben considerarse los factores siguientes:

1. Capacidad para soportar las vibraciones mecánicas —fatiga— a que puede estar sujeto el cable durante el transporte, el tendido y una vez instalado.
2. Resistencia a la corrosión.
3. Capacidad para soportar las maniobras habituales de fabricación e instalación, más otras posteriores en caso de modificación de las instalaciones.

Debido a la baja resistencia a la fatiga del plomo puro, este metal no resulta satisfactorio para el recubrimiento de cables aéreos, subterráneos y submarinos.

Ante la imposibilidad de conseguir con plomo puro cubiertas de cable adaptadas a las condiciones de manipulación y servicio requerido, se recurre a aleaciones de dicho metal. La aleación que ha resultado más adecuada es la compuesta de un 0'85 % de antimonio y el resto de plomo.

El espesor de la cubierta depende del tipo de servicio del cable.

Los cables bajo cubierta de plomo son adecuados para instalación aérea o en galería de servicios; sin embargo, para instalación subterránea o submarina requieren protecciones adicionales.

1. Cable protegido con yute

La protección de yute tiene el objeto de evitar la corrosión. La protección consiste en capas, que a continuación se detallan:

a) Mezcla bituminosa.
b) Dos capas de papel impregnado.
c) Mezcla bituminosa.
d) Dos capas de yute impregnado.
e) Mezcla bituminosa.
f) Baño de cal.

2. Cable armado con cinta de acero

Cuando se requiere una protección mecánica superior, o protección contra la inducción de baja frecuencia de líneas de transporte de energía próximas al cable subterráneo, debe añadirse una armadura de cinta de acero. Esta protección está formada por capas de los siguientes materiales, indicados según el orden de su colocación:

a) Mezcla bituminosa.
b) Dos capas de papel impregnado.
c) Mezcla bituminosa.
d) Dos capas de yute impregnado.
e) Mezcla bituminosa.
f) Dos cintas de acero suave, aplicadas helicoidalmente (la segunda cinta cubre los espacios libres dejados por la primera, más un tercio).
g) Mezcla bituminosa.
h) Dos capas de yute impregnado.
i) Mezcla bituminosa.
j) Baño de cal.

El espesor de la cinta de acero empleada depende principalmente del diámetro del cable a armar. Normalmente se emplea fleje de 0'5 a 1 mm de grueso.

3. Protección con cinta de latón (a prueba de insectos)

Para impedir que la cubierta de plomo sea atacada por insectos es esencial una protección con fleje de latón. La cubierta protectora, en estos casos, está formada por:

a) Tres cintas protectoras de papel impregnado.
b) Dos cintas de latón estañado.
c) Dos capas de yute impregnado.
d) Baño de cal.

VENTAJAS DE LOS CABLES BAJO PLOMO EN LAS LINEAS DE TELECOMUNICACION

Las ventajas de las líneas con cable bajo plomo sobre los tendidos de líneas aéreas con conductores desnudos son las siguientes:

1. Razones de estética.
2. La calidad de la transmisión es mejor, más constante y más segura.
3. Consideraciones económicas. Si bien la instalación de cables bajo plomo es más costosa, a la larga resulta más ventajosa que las líneas aéreas. Su conservación es nula, mientras que en las líneas aéreas es bastante cara. Las averías de cruces, derivaciones a tierra, etc., propias de las líneas aéreas con conductores desnudos, desaparecen. Por tanto, se puede asegurar que las grandes ventajas que ofrece en todos los aspectos el cable compensan con creces el gasto inicial de adquisición.

CLASIFICACION DE LOS CABLES

Los cables bajo plomo aislados con papel y aire seco pueden clasificarse en los grupos siguientes:

Cable urbano (de abonado, principales o de entronque).
Cable coaxial.
Cable interurbano.
Cable telegráfico.

Todos estos cables pueden instalarse en conducciones aéreas o subterráneas. En el caso de prescindir de canalizaciones (directamente enterrado) deben utilizarse cables armados.

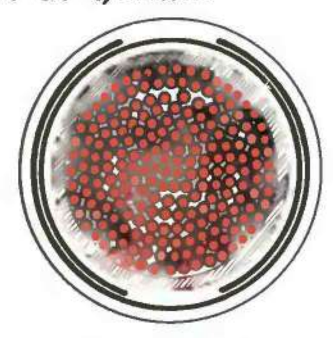
Además de los cables armados existen los cables submarinos, los cuales serán objeto, más adelante, de un breve estudio que nos dará una idea de conjunto de su naturaleza.

CABLE URBANO

En este grupo se incluyen los de abonado, principales o de entronque. Los de abonado llevan conductores, cuyo diámetro varía desde 0'405 mm hasta 0'64 mm, dispuestos en pares. Los cables de entronque, que se utilizan para unir centrales, son de características muy semejantes a los anteriores, si bien sus capacidades están comprendidas entre límites más bajos, siendo menores por tanto las pérdidas de transmisión. En estos tipos los conductores varían desde 0'64 mm a 0'91 mm de diámetro.

Las figuras representan distintos tipos de cables urbanos.

Hilo de cobre de 0,91 mm.



Cableado en pares y capas concéntricas. Aéreo y subterráneo. Conductor: hilo de cobre de 0'91 mm.



TIPO UNIDAD

Los números 50, 51 y 101 indican el número total de pares en cada grupo incluyendo el par piloto.

Todos los pares pilotos están aislados con papel natural, marcado con líneas azules en uno de los hilos y rojas en el otro.

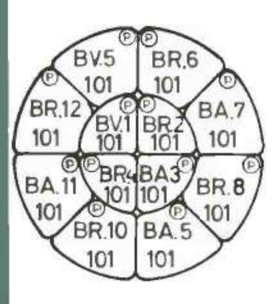
Colores de los pares que no son pilotos:

Cables de 11 a 101 pares. — **Todos los hilos están aislados con papel natural, marcado con líneas verdes o rojas en uno de los hilos de cada par, según se indica.**

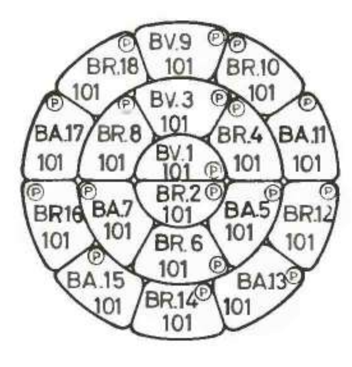
Cables de 153 a 2.424 pares. — **Todos los hilos están aislados con papel natural, marcado con líneas rojas en uno de los hilos de cada par.**

La identificación de cada unidad en cables de 153 pares en adelante, se obtiene por dos espirales de papel arrollados sobre cada unidad; uno de estos papeles será coloreado y el otro blanco, llevando marcado el número consecutivo de la unidad en el cable, según se indica.

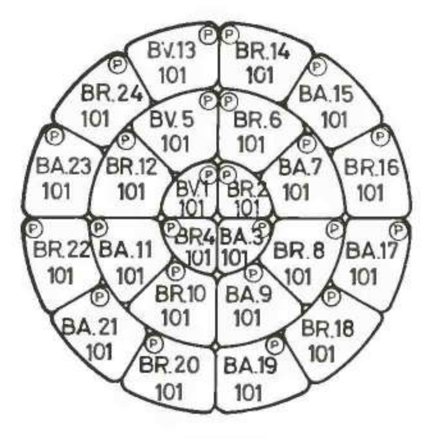
BV. = BLANCO VERDE
BA. = BLANCO AZUL
BR. = BLANCO-ROJO
Ⓟ = PAR PILOTO



1212 PARES



1818 PARES



2424 PARES

CABLE COAXIAL

Para la transmisión telefónica y televisión, utilizando frecuencias portadoras de banda ancha, el Comité Consultivo Internacional ha recomendado el cable coaxial para circuitos internacionales de alta calidad.

El cable coaxial consiste esencialmente en un conductor central de cobre, encerrado en un conductor exterior tubular. El conductor exterior está formado por una cinta de cobre que se mantiene concéntrica con el conductor central por medio de discos de politeno espaciados. El tubo completo se refuerza con dos cintas de acero especial, para aumentar su resistencia mecánica y protección electromagnética. Con el objeto de aislar e identificar el tubo se aplican dos capas de papel aislante sobre las cintas de acero; el papel exterior lleva la marca de identificación que corresponde al tubo en el cable.

Este tipo de cable se fabrica normalmente con dos, cuatro o seis tubos, cableados junto con cuadretes estrellas aislados con papel, los que tienen el objeto de satisfacer las necesidades del servicio y control entre las estaciones principales y las repetidoras intermedias. Si se precisa una o más capas de cuadretes, se pueden cablear alrededor de estos núcleos, para formar circuitos locales, de corta longitud, entre puntos intermedios de la ruta.

Las figuras representan distintos tipos de cable coaxial.

El cable coaxial puede ser calificado de excepcional; además de poder transmitir la televisión a largas distancias —lo cual, como es sabido, no son capaces de hacer las emisoras por sí solas— permite establecer hasta 960 conferencias telefónicas simultáneas por cada par de tubos, y sus canales telefónicos pueden emplearse para otros tipos de comunicación, como telegrafía (teletipo, telefotografía), etc. Para la transmisión de programas musicales de alta calidad, que requieren una banda más amplia que la que proporciona la telefonía comercial, se pueden emplear dos o más canales adyacentes; es evidente la ventaja del cable coaxial, para este objeto, por su sistema de banda ancha. La recomendación del C.C.I. se apoya en hechos concretos.



Vista en sección.

Vista de los diferentes cortes

Algunos tipos de cable coaxial.

Cable coaxial de 1 tubo.

CABLE INTERURBANO

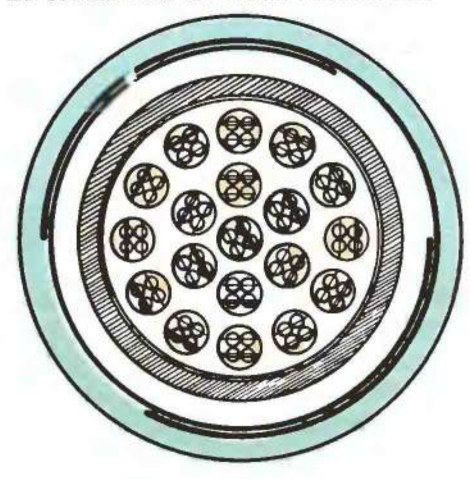
Los cables interurbanos, que pueden ser de tipo armado o sin armar, se utilizan para transmisiones a grandes distancias, generalmente equipados con bobinas de carga y repetidores. Los conductores utilizados normalmente son de 0'9 y 1'3 mm de diámetro, y forman cuadretes para la constitución de circuitos fantasmas. En la construcción de estos cables se evita cuidadosamente toda clase de desequilibrios.

La figura representa una fotografía y un dibujo de sección de un cable interurbano.

Resistencia óhmica de conductor. — **Para 1'3 mm, no excederá de 13'9 ohmios/Km de cable a 20° C. Para 0'9 mm, no excederá de 27'6 ohmios/Km de cable a 20° C. Para 0'81 mm no excederá de 34 ohmios/Km de cable a 20° C.**

Resistencia de aislamiento. — **Será superior a 10.000 megohmios/Km.**

Rigidez dieléctrica. - **Resistirá durante dos segundos sin descarga un potencial alterno cuyo valor máximo instantáneo sea por lo menos 800 voltios.**





Cableado en cuadretes. Conductores: hilo de cobre de 0'9 mm y 1'3 mm. Hilo de cobre de 0'81 y 1'3 mm.

CABLE TELEGRAFICO

Los cables telegráficos están constituidos, por lo general, por conductores de 1'4 mm de diámetro o mayores. Deben presentar un aislamiento suficiente para trabajar con una tensión entre conductores de 1500 voltios en corriente alterna, por lo que su característica principal es la de estar aislados con doble capa de papel.

Las fotografías representan distintos tipos de cables telegráficos.





HILOS Y CABLES PARA INSTALACIONES INTERIORES

Para los hilos y cables, en los cuales el aislante se encuentra en todo o en parte expuesto al aire, el aislamiento de papel seco no es adecuado, ya que expuesto al aire del ambiente absorbe la humedad y pierde, por tanto, sus cualidades aislantes. En estos casos se utiliza preferentemente el aislamiento textil.

CABLES CON AISLAMIENTO TEXTIL BAJO PLOMO

Los cables bajo plomo con aislamiento textil se utilizan para montajes interiores, en los cuales la capacidad entre conductores tiene importancia secundaria y donde sería poco factible cerrar a prueba de humedad los extremos del cable.

Se fabrican de dos clases, designados respectivamente con los nombres de cables terminales y cables para interfonos.

Los cables terminales se utilizan para terminar los cables con aislamiento de papel, evitando que penetre la humedad en estos últimos. Están formados por conductores de 0'6 mm de diámetro, estañados y esmaltados, aislados con doble capa de seda artificial aceitada y algodón coloreado; el alma del cable está envuelta en dos cintas de papel.

Los cables para interfonos tienen infinidad de aplicaciones, pero se utilizan principalmente para interconectar aparatos telefónicos en los edificios. Están constituidos por conductores de 0'6 mm de diámetro estañados y esmaltados. Cada conductor está aislado con una o dos capas de algodón. El haz de pares va envuelto en una capa de algodón y el núcleo se impregna de parafina.

Tanto los cables terminales como los de interfono están protegidos por una cubierta de plomo.

CABLES CON AISLAMIENTO Y CUBIERTA TEXTIL

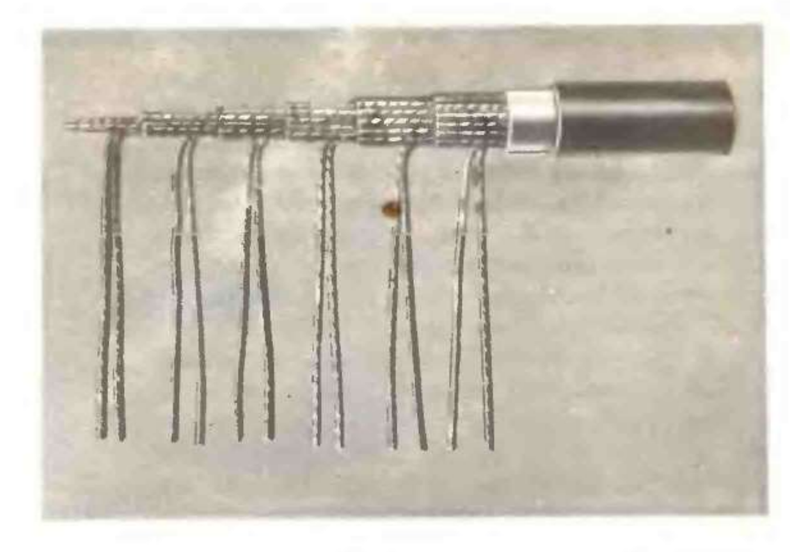
Los cables con aislamiento y cubierta textil tienen principal aplicación en el cableado de centrales automáticas o manuales; por ello reciben el nombre de cables múltiples o para conmutadores.

Estos cables están formados por alambres de cobre estañados y esmaltados, provistos de aislamiento textil (algodón o algodón y seda), que forman un núcleo seco protegido por una capa de algodón, cintas de papel seco, cinta de hoja de plomo, papel aceitado, otra capa de algodón y una cubierta trenzada, también de algodón.. Esta cubierta está impregnada de una pintura ininflamable.

Las figuras representan distintos tipos de cables con aislamiento textil.



Cables terminales, aislados con seda y algodón bajo plomo puro. Conductor: hilo de cobre de 0'6 mm estañado y esmaltado. Cableado en pares



Cables interfonos, aislados con algodón bajo plomo puro. Conductor: hilo de cobre de 0'6 mm estañado y esmaltado. Cableado en pares.



Algunos tipos de cable conmutador.

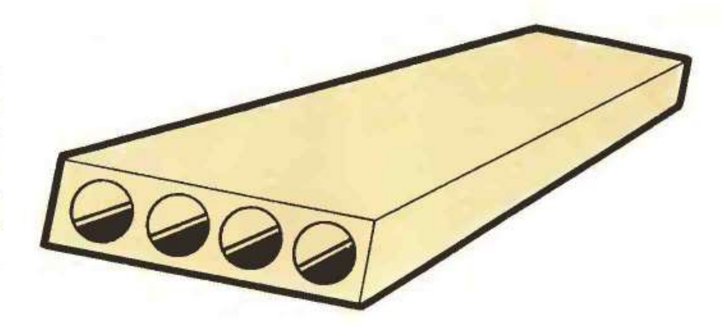
En la actualidad se utilizan materiales plásticos, en particular el polietileno, para el aislamiento de los conductores y para la cubierta de los cables de telecomunicaciones. La ventaja de estos cables sobre los de papel y plomo es no absorber la humedad y su gran resistencia de aislamiento, que se mantiene incluso en ambientes húmedos.

Los cables con cubierta de plástico son más ligeros que los de cubierta de plomo y tienen una superficie lisa y limpia; son mecánicamente más sólidos e insensibles a la corrosión. Además pueden tenderse con más facilidad y en longitudes mayores, sin tanto peligro para el elemento dieléctrico.

CANALIZACION DE CABLES

Puesto que el tendido subterráneo de los cables es sumamente costoso y además dificulta la circulación en las calles, debido a los trabajos de excavación de la zanja y la posterior reposición del pavimento, en las zonas urbanas es recomendable prever una canalización desde el primer momento de la construcción de una red de cables. Esta canalización debe proyectarse con una reserva del cien por ciento, de forma que sea posible doblar la instalación sin necesidad de obras de excavación y reposición de pavimento. Si se amplía posteriormente la red pueden introducirse los cables en la canalización sin interrupciones notables del tránsito ni realizar gastos de excavación.

En la construcción de las canalizaciones destinadas a telecomunicaciones se utilizan conductos para cada cable. El material comúnmente empleado en la construcción de estos conductos es el hormigón, tubos de amianto-cemento (uralita), fibra, etc. Los conductos de hormigón tienen la ventaja de que pueden construirse a pie de obra. Todos los demás tubos se construyen en fábricas especiales y están expuestos a roturas durante el transporte. Los tubos de uralita y de fibra tienen la ventaja de que su longitud es de 3 m, por lo



que su montaje resulta más barato que el de los bloques de hormigón de 1 m de largo. La figura reproduce un bloque de hormigón para la construcción de canalizaciones para el tendido de cables.

Una canalización de cables está formada, además de por los conductos, también por los pozos de cables. Estos pozos se colocan en cada derivación, o sea, generalmente en cada cruce de calle, por lo que la distancia entre pozos es de 70 a 130 metros. Se dimensionan de acuerdo con el número de cables que pasan por ellos. Generalmente se construyen de mampostería con ladrillos, o bien de hormigón o piezas prefabricadas. La figura representa esquemáticamente un pozo de cables con canalización o tubular.

TAPA DE VISITA
A NIVEL DE LA CALZADA

CONDUCTOS FORMADOS
POR BLOQUES DE HORMIGON


Caja terminal de cabie (abierta).

Caja terminai de cable (cerrada).

Las figuras representan una caja terminal de cable abierta y cerrada.

En los pozos, los cables, con sus manguitos de empalme o derivaciones, se colocan en soportes adecuados. Los pozos de cables se cierran generalmente con tapas de hierro fundido. Para la subida de los cables de pocos pares a las cajas terminales de distribución, se emplean unas cajas pequeñas que reciben el nombre de cajas de subida.

Para el tendido en la canalización de cables se emplean cables con cubierta de plomo aleado. Si deben protegerse contra la corrosión, a causa de influencias electrolíticas, se utilizan cables armados. También ha tenido éxito recubrir la cubierta de plomo con una capa de polietileno o cloruro de polivinilo, aplicada por inyección.

En las afueras de núcleos urbanos se utilizan como cables de enlace los cables subterráneos armados o los cables aéreos. Estos cables aéreos se montan como cables suspendidos de cables mensajeros. La figura representa un montaje de este tipo.

Los cables aéreos livianos se emplean con preferencia en redes de distribución de ciudades pequeñas o en suburbios de grandes ciudades. Su montaje y mantenimiento son muy sencillos, lo cual no deja de ser una ventaja.



CABLES SUBMARINOS

El primer cable submarino se colocó el año 1851 entre Calais y Dover. En 1866 se efectuó el tendido de los cables transatlánticos entre Inglaterra y Estados Unidos. Posteriormente se ha tendido más de 350.000 millas marinas (1 milla marina es igual a 1852 metros) de cables submarinos telegráficos en todo el mundo.

Estos cables son del tipo concéntrico. Su núcleo está compuesto de un conductor de cobre aislado con polietileno (antes con gutapercha), alojado dentro de una armadura de hilos de acero galvanizado protegidos con yute impregnado con pastas bituminosas.

Las corrientes telegráficas de baja frecuencia después de haber pasado por el conductor central retornan por un cilindro de agua de mar de gran sección y, por tanto, de resistencia despreciable.

Los cables telegráficos no son apropiados para la transmisión de las corrientes telefónicas, pues al elevarse la frecuencia la corriente de retorno tiende a concentrarse en las cercanías del cable, medio complejo formado por los hilos de acero de la armadura bañados en agua de mar, ofreciendo así resistencias elevadas. Los cables telefónicos tienen, pues, para la corriente de retorno, un conductor de cobre colocado en el interior de la armadura.

Los cables telefónicos submarinos no permiten realizar económicamente uniones a corriente portadora a distancias superiores a 200 millas marinas sin la intervención de repetidores sumergidos, intercalados a distancias uniformes en la longitud total del cable.

La aparición de tubos especiales de gran duración, que se utilizan para el equipo de los repetidores, ha permitido el desarrollo actual de la telefonía submarina, la cual tiene sobre las emisiones radiofónicas las ventajas de mayor seguri-



Cable submarino.

dad, mejor calidad y secreto de las comunicaciones.

La rápida automatización de los cables telefónicos submarinos hace su instalación económicamente posible y competitiva con las uniones radiofónicas cuando se trata de grandes distancias.

CABLES SUBMARINOS CON ARMADURA EXTERNA

Núcleo

El núcleo es el elemento de la transmisión. Debe ser idéntico en todo el tendido del cable y está formado por:

1. Un conductor central de cobre, que consta, en general, de un hilo macizo recubierto de capas finas cableadas de 0'3 a 0'4 mm de espesor.
2. Un aislamiento de polietileno macizo, de un espesor tal que el diámetro sobre el aislante sea igual a 3'6 veces el diámetro del conductor.
3. Un conductor exterior formado por bandas de cobre de 0'4 mm de espesor, recubierto por una tira de cobre de 0'1 mm que protege el alma del cable.
4. Una cinta textil impregnada.

En las zonas en que el cable sube a tierra de 3 a 15 millas marinas, este núcleo está protegido contra las perturbaciones eléctricas exteriores por una pantalla formada por dos o más capas de acero, una vaina aislante de polietileno y una segunda pantalla formada por una cubierta de plomo y cintas de cobre. Finalmente, se recubren con una tela impregnada.

Armadura

Estos dos tipos de alma o núcleo, protegidos y no protegidos, están recubiertos de distintas armaduras, según cual sea su posición en el cable. En las cercanías de los aterrizamientos, hasta profundidades de 100 a 150 m, la armadura se refuerza para proteger el cable contra los agentes mecánicos (oleaje, abrasión de la arena, golpes o tirones con anclas, etc.) mediante hilos de armadura de 5 a 8 mm de diámetro.

El alma *gran fondo* comporta una capa de hilos de acero de 2 a 2'5 mm y una o dos capas de hilos trenzados impregnados de pasta compound.

* * *

ELECTRICIDAD

Telefotografía

Fundamentos de telefonía



LECCION Nº 25



TELEGRAFIA CON REPRODUCCION DE LAS FORMAS

La telegrafía con reproducción de las formas tiene por objeto transmitir textos manuscritos (teleautografía), de documentos en negro y blanco (facsímil) y de documentos que comprenden las medias tintas (telefotografía).

La explotación de los circuitos teleautográficos está prácticamente abandonada. Hoy en día solamente se utilizan la telefotografía —que es un procedimiento de gran calidad; pero lento y costoso, puesto que exige un revelado fotográfico para obtener el clisé definitivo a la recepción—, y el facsímil, que proporciona documentos de menor calidad pero utilizables inmediatamente después de la recepción.

La transmisión de los documentos se efectúa por el mismo procedimiento que para la televisión, o sea mediante la exploración sincrónica punto por punto. Para la emisión el documento se enrolla en un cilindro de diámetro C que gira a una velocidad determinada; la exploración tiene lugar siguiendo una hélice de paso H. La cantidad $F = 1/H$ expresa la finura de exploración; la cantidad $M = C/H = FC$ es el módulo de cooperación. PARA QUE DOS APARATOS (EMISOR Y RECEPTOR) PUEDAN REALIZAR UNA COMUNICACIÓN TELEFOTOGRÁFICA ES PRECISO QUE TENGAN IGUAL MÓDULO DE COOPERACIÓN Y QUE EXPLOREN EL MISMO NUMERO DE PUNTOS POR UNIDAD DE TIEMPO.

Durante la transmisión, la luminiscencia de cada punto de imagen se traduce en una modulación de la onda portadora, la cual a su vez es convertida en luminiscencia en la recepción del documento.

Hacia 1843 el físico Bain se interesó por la transmisión de facsímil y construyó en Inglaterra un aparato para transmitir a distancia los caracteres trazados a mano. En el año 1865 el abate Casselli construyó un sistema de fototelegrafía que resultó demasiado lento.

Eduardo Belin realizó trabajos en Francia en 1907, y efectuó ensayos sobre una distancia de 1700 Km con resultados alentadores.

Numerosos perfeccionamientos de detalles hicieron posible en 1925 la puesta en marcha en Francia de un servicio público de telegramas autógrafos. En 1928 la difusión de las células fotoeléctricas y las mejoras aportadas a los tubos electrónicos crearon las bases de los aparatos utilizados en la actualidad.

A partir de 1922, en Alemania, la casa Siemens, con la colaboración de los profesores Korn y Carolas y de la sociedad Telefunken, se interesó por la telegrafía.

DESCRIPCION DE LOS APARATOS FRANCESES DE BELIN

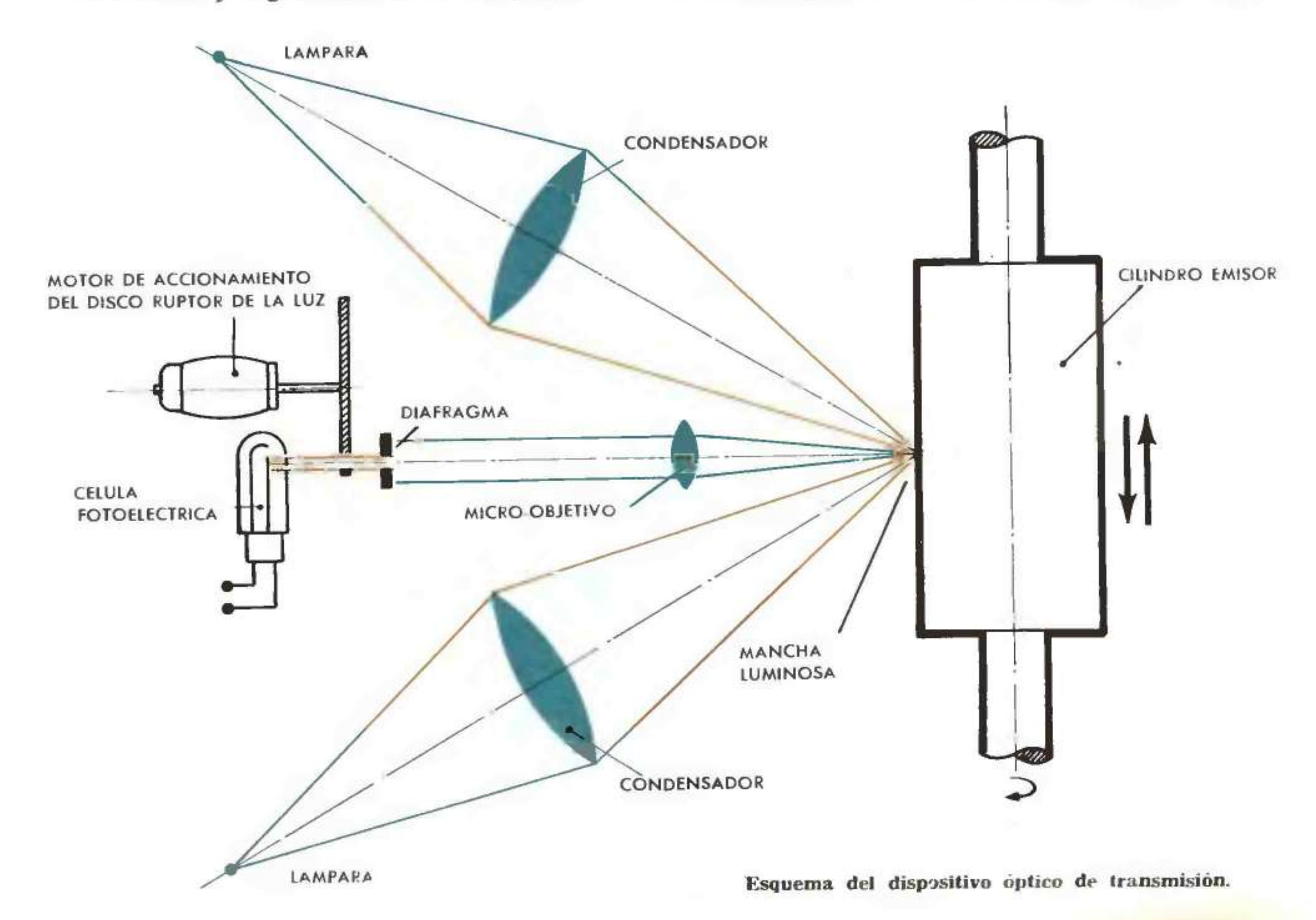
Los problemas principales que hubo que resolver para la transmisión a distancia de las imágenes son los siguientes:

1. Traducir una intensidad luminosa en variaciones eléctricas que puedan ser enviadas por un circuito.
2. Traducir en variaciones luminosas las variaciones eléctricas recibidas de un circuito.
3. Sincronización de los órganos explorador en la emisión y registrador en la recepción.

A continuación describimos las soluciones adoptadas en los aparatos Belin.

Emisión

El documento que se transmite se enrolla sobre un cilindro emisor. El dispositivo explorador está formado por un microobjetivo que forma en un fino rayo luminoso la imagen aumentada de la parte del documento que se encuentra frente al microobjetivo, la cual se ilumina intensamen-



Esquema del dispositivo óptico de transmisión.

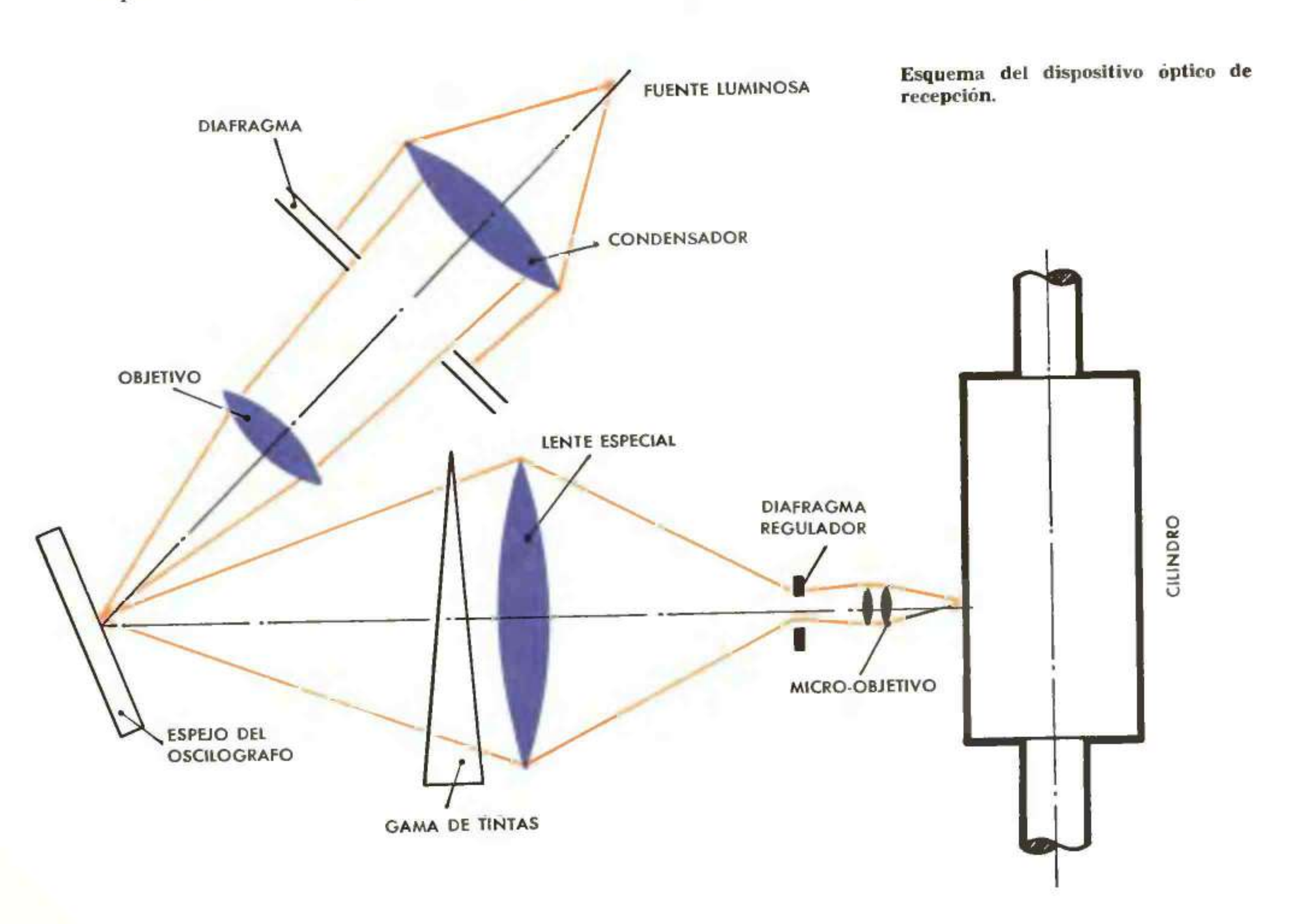
te por el conjunto de lámparas L y los condensadores C. El rayo luminoso pasa a través de un diafragma de dimensiones convenientes que deja pasar la luz al interior de una cámara oscura, en la cual se encuentra la célula fotoeléctrica. La célula fotoeléctrica traduce en valores eléctricos las variaciones luminosas de la imagen. La figura representa el esquema del dispositivo óptico de emisión. Las medidas del diafragma determinan el tamaño del punto de exploración de la fotografía. El cilindro gira alrededor de su eje y tiene además un movimiento transversal a lo largo del mismo, de tal forma que todos los puntos del documento pasan sucesivamente frente al dispositivo explorador. Por tanto, la descomposición se realiza siguiendo un movimiento helicoidal. La señal procedente de la célula pasa a un amplificador y de este a la línea.

Recepción

Las señales que llegan del emisor a través de la línea, después de amplificadas y rectificadas, se envían a un oscilógrafo. El espejo del oscilógrafo forma parte del sistema óptico del receptor. La fuente luminosa emite un rayo de luz que, a través de un condensador óptico, un diafragma y un objetivo, ilumina intensamente el espejo del oscilógrafo. El objetivo forma la imagen, después de ser reflejada en el espejo, en una pantalla provista de una abertura que recibe el nombre de gama de tintas. El haz luminoso, concentrado por una lente, forma a través del diafragma la imagen del espejo del oscilógrafo. La luz que atraviesa el diafragma pasa por un microobjetivo y reproduce sobre el cilindro registrador la imagen reducida, al paso de exploración. Esta imagen impresiona la película o el papel fotográfico colocado sobre el cilindro. Las variaciones de corriente que atraviesan el oscilógrafo producen una rotación del espejo. El haz reflejado por este espejo se desplaza sobre la lente, entre las dos extremidades de la gama de tintas, quedando la imagen fija en el diafragma por la construcción especial de la lente.

El cilindro de recepción tiene las mismas dimensiones que el cilindro de transmisión y está animado del mismo movimiento helicoidal.

La figura representa el esquema del dispositivo óptico de recepción.



Esquema del dispositivo óptico de recepción.

VIAS DE COMUNICACION

Las vías de las comunicaciones telegráficas pueden clasificarse en tres grandes grupos:

Vías de *corriente continua;*
Vías de *corriente alterna;*
Vías *radioeléctricas.*

Vías de corriente continua

Las vías de corriente continua pueden ser:
Vías *simplex*
Vías *armónicas*

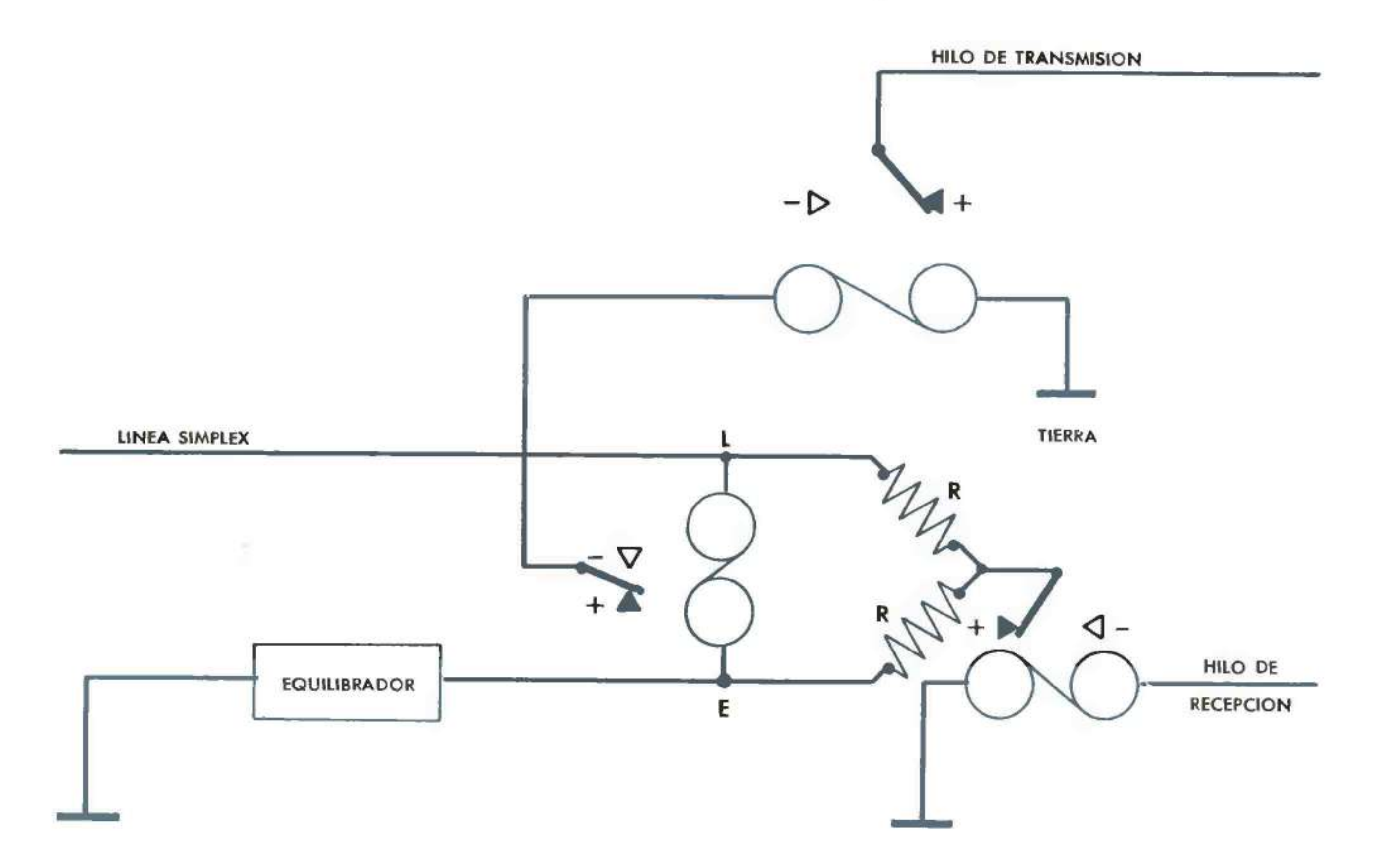
Vías simplex

Las vías simplex solamente admiten la transmisión y recepción alternada; o sea que cada uno de los puestos debe funcionar alternativamente como transmisor y como receptor. Este cambio se hace gracias a una conmutación automática de los teleimpresores.

Vías armónicas

En estas vías la transmisión puede hacerse simultáneamente en los dos sentidos. Las vías armónicas pueden estar formadas por un circuito eléctrico para cada sentido de transmisión o por el doblado de una vía simplex. La figura representa el esquema de un circuito de este tipo, formado por doblado de una línea simplex.

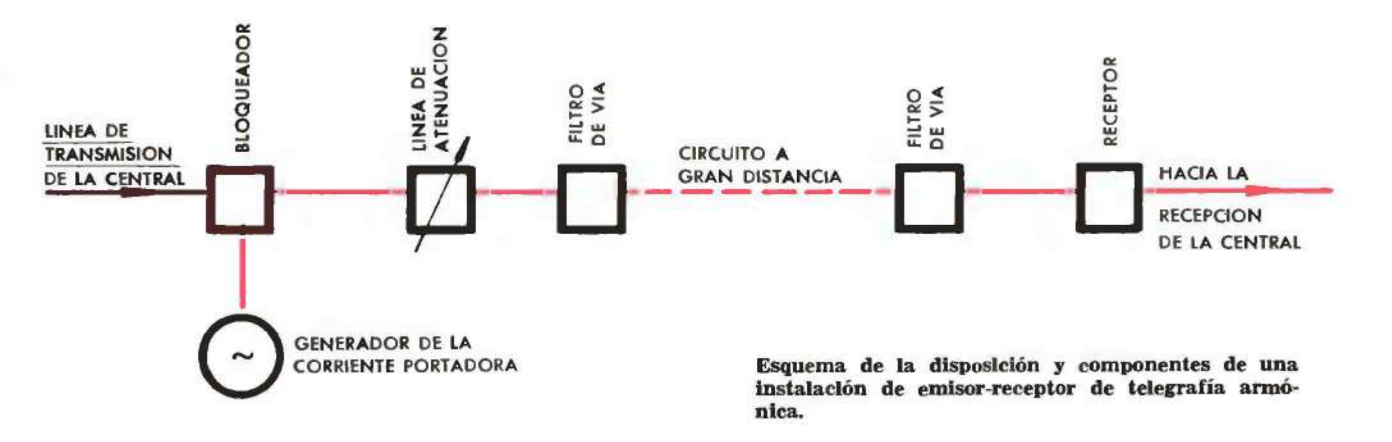
El equilibrador o línea artificial presenta, entre E y tierra, una impedancia que es sensiblemente igual a la impedancia entre L y tierra de la línea simplex.



Vías de corriente alterna

Las vías están formadas por un estrecho canal de frecuencias del orden de 120 Hz, guiadas en la banda pasante de un circuito telefónico, y permiten la formación de un haz importante, entre 6 y 24 vías, sobre un mismo circuito soporte.

La transmisión en vías de corriente alterna acostumbra hacerse por corte de la corriente portadora, cuyas frecuencias están normalizadas. Estas frecuencias se unen a vías de corriente continua a través de traslaciones especiales que reciben el nombre de equipos *emisores-receptores de telegrafía armónica.* La figura da el esquema de principio de un equipo de este tipo.



Esquema de la disposición y componentes de una instalación de emisor-receptor de telegrafía armónica.

Este sistema de onda portadora es muy utilizado para la transmisión de información y para el control de las centrales eléctricas, usándose como vía los tendidos de líneas aéreas de alta tensión. También se utiliza para la protección selectiva de las líneas. Cada día tiene más aplicación en las industrias productoras de energía eléctrica, así como en las comunicaciones en general.

Vías radioeléctricas

Estas vías, que se utilizan también para las comunicaciones telegráficas, consisten en haces hertzianos, o sea que se sirven de canales similares a los utilizados para las comunicaciones radioeléctricas.

Los métodos y sistemas de las vías radioeléctricas entran en el campo de las comunicaciones inalámbricas, por lo que no serán tratados en este volumen, dedicado únicamente a las comunicaciones alámbricas. Cuando los retardos de la restitución durante una transmisión no son iguales, decimos que hay distorsión. El grado de distorsión de servicio es el grado de distorsión obtenido durante la transmisión de un texto determinado y de duración especificada.

REDES TELEGRAFICAS

El conjunto de las comunicaciones telegráficas de una zona constituye la red telegráfica de dicha zona. Las comunicaciones, que forman una red, pueden ser del tipo de poste a poste o del conmutable. Las comunicaciones conmutables pueden serlo manual o automáticamente.

Las secciones de vías telegráficas que forman parte de una comunicación están unidas entre sí, y también a los aparatos terminales, mediante las llamadas traslaciones, de alguno de estos tipos:

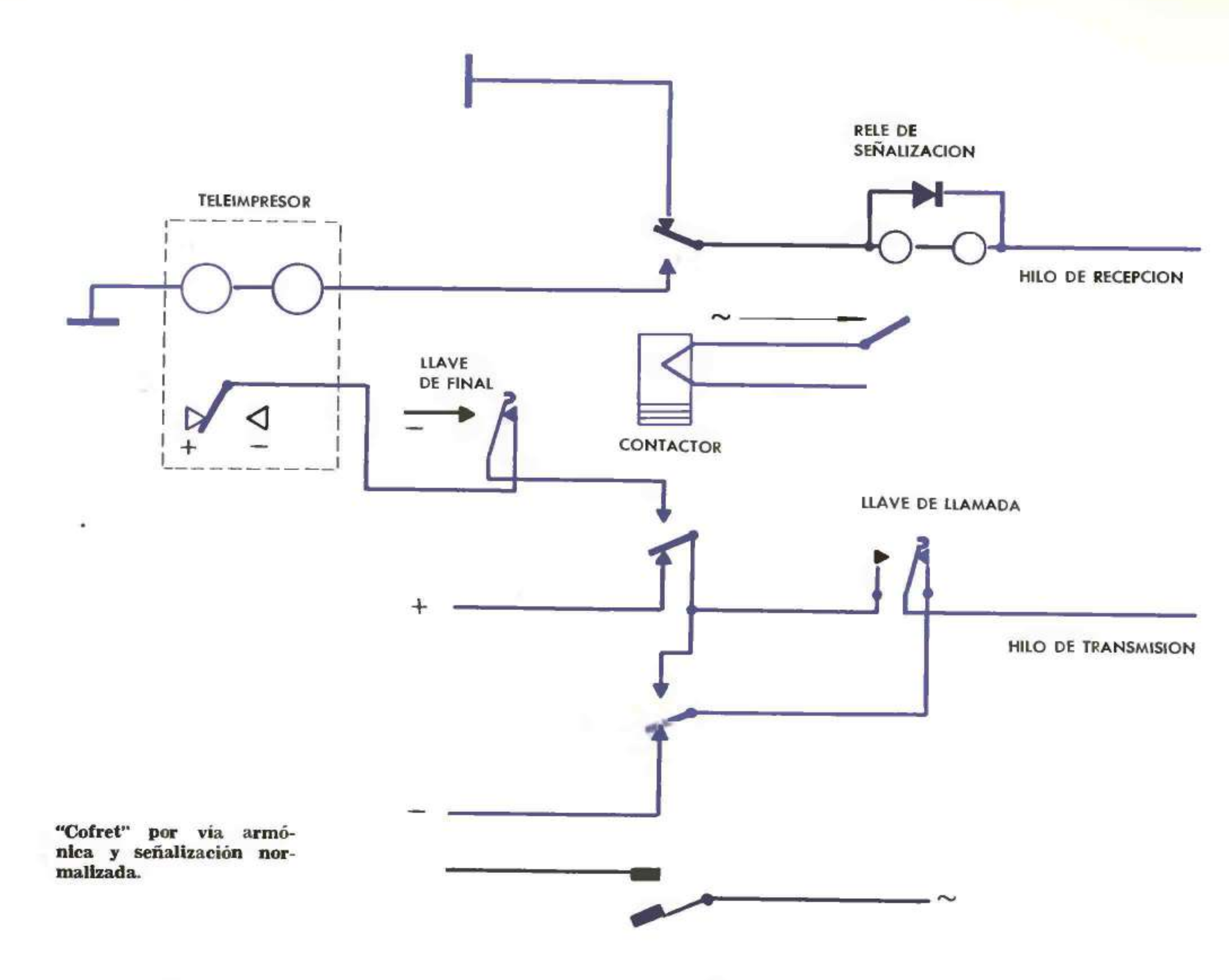
1. De unión, jugando entonces el mismo papel que los receptores en telefonía.
2. Convertidoras. Adaptan las vías de comunicación entre sí o a los aparatos de extremidad.
3. Regeneradoras, que a partir de la modulación distorsionada recibida por la traslación emiten una modulación perfecta.

CONMUTACION TELEGRAFICA

La conmutación telegráfica puede establecer la transmisión unilateral entre dos aparatos de un servicio público, o la comunicación alternada entre teleimpresores, utilizando el circuito telefónico o un circuito telegráfico especial (Servicio Telex).

En el último caso, se acopla un *cofret* de maniobra a cada teleimpresor abonado a la red, provisto de más de un emisor. La recepción es completamente automática. La figura representa el esquema de un *cofret* por vía armónica y señalización normalizada.

En posición libre los hilos de recepción y transmisión del puesto están en trabajo permanente (negativo). Para pedir comunicación el abonado establece, mediante la llave de llamada, un reposo permanente (positivo) en su hilo de transmisión; el conmutador busca entonces al abonado demandante y una vez lo ha encontrado pone en



"Cofret" por vía armónica y señalización normalizada.

reposo permanente el hilo de recepción de este último. El relé de señalización se cierra, seguido del contactor, el cual provoca el arranque del motor del teleimpresor (invitación a transmitir). El peticionario hace entonces su demanda, la cual provoca la selección del abonado demandado. Si este último está libre, es tomado por el conmutador. Durante la comunicación no se transmite ninguna señal de duración superior a 120 ms (milésimas de segundo).

La liberación al final de la comunicación se logra por la maniobra de la llave de final de uno cualquiera de los dos puestos, lo que, dejando el hilo de recepción del otro poste permanentemente en reposo, provoca el relajamiento de su relé de señalización, su contactor, el paro del motor de su teleimpresor y el envío de un trabajo permanente sobre su hilo transmisión, lo cual provoca la misma reacción en el primer puesto. Relés análogos al de señalización consiguen el funcionamiento y liberación del conmutador. Si el abonado pedido estaba ocupado, el conmutador habría enviado una señal de final al peticionario, provocando el paro del motor de su teleimpresor, lo cual equivale a decir que el peticionario recibe una *señal de ocupado*.

CONMUTACION AUTOMATICA

Es de notar que, por oposición con el servicio telefónico, los aparatos telegráficos y los circuitos de conmutación están preparados de modo que el abonado puede enviar un telegrama al aparato de otro abonado sin que sea necesaria la presencia de un operador en la extremidad receptora. La puesta en marcha y paro del teleimpresor llamado se hacen automáticamente.

Para entrar en comunicación con el otro abonado el demandante debe ponerse en relación con el centro de conmutación del cual depende, formar el número del abonado deseado y recibir una señal que le indique que se ha establecido conexión con el demandado. Los abonados deben, además, cortar la conexión establecida al final de la comunicación.

Para una comunicación local, es decir, entre dos abonados de una misma central telegráfica, el tiempo de establecimiento de una comunicación, contado a partir del momento en que el demandante baja su llave de llamada, hasta el momento en que puede transmitir a su corresponsal oscila, con mucha aproximación, alrededor de los veinte segundos.

PRINCIPIOS DE LA TELEFONIA

LA VOZ Y EL OIDO HUMANO

Todos sabemos que los sonidos engendrados por vibraciones elásticas de cuerpos diversos (sólidos, líquidos y gases) se propagan entre el punto de origen y el receptor —que puede ser el oído humano— por medio de las vibraciones del aire. La voz humana produce vibraciones sonoras, cuya potencia es del orden de algunas decenas de microvatios, que pueden ser percibidas directamente por el oído cuando la distancia que lo separa del origen de las vibraciones es pequeña; es decir, del orden de diez metros. La transmisión a mayor distancia de los sonidos producidos por la voz necesita la transformación de las vibraciones del aire que engendra la voz en señales eléctricas llamadas *corrientes vocales*, más la transformación inversa, en el extremo receptor, de las corrientes vocales en vibraciones sonoras.

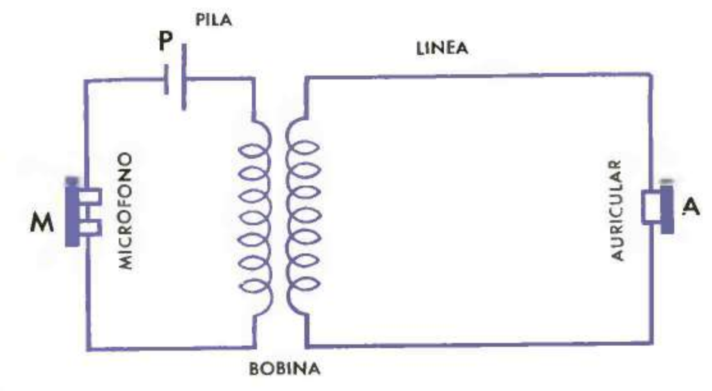
En lo concerniente al lenguaje articulado, la emisión vocal está compuesta de sílabas por lo general formadas por la emisión de una consonante seguida de una vocal. El análisis de las corrientes vocales muestra que la emisión de un sonido comporta un breve estado transitorio, seguido de un régimen permanente, durante el cual se transmite la mayor parte de la energía. Este estudio muestra que cada sonido produce una corriente, que puede descomponerse en una onda fundamental, que determina el tono o altura del sonido, y un número mayor o menor de armónicos, que caracterizan el timbre.

Se considera, de una forma general, que las ondas fundamentales de las diversas voces humanas, tienen una frecuencia comprendida entre 200 y 3000 Hz.

El oído percibe prácticamente los sonidos de frecuencia comprendida entre 50 y 10000 Hz. Estos límites varían con el individuo y con la edad. Los dispositivos de transmisión telefónica modernos dejan pasar las frecuencias comprendidas entre 300 y 3400 Hz.

TRANSFORMACION DE LAS ENERGIAS ACUSTICAS Y ELECTRICAS

Las vibraciones sonoras, cuya continuidad puede ser considerada como un mensaje emitido por la persona que habla, hacen, por su acción sobre la membrana del micrófono M, variar la intensidad de la corriente continua producida por la pila P, lo cual constituye de hecho una modulación de amplitud. La figura muestra el esquema de los elementos esenciales de la tranformación recíproca de las energías eléctricas y acústicas.



La bobina transforma esta corriente de intensidad variable en una serie de señales que se aplican a la línea y, por intermedio de esta línea, al receptor telefónico A. Este último está constituido por dos bobinas de inducción polarizadas, recorridas por la corriente periódica, que hacen vibrar una membrana magnética. Las vibraciones correspondientes que se transmiten al aire son entonces idénticas a las de la membrana del micrófono que las ha engendrado; de esta forma provocan las mismas vibraciones que las ha originado y que son el principio de la transformación. Estos sonidos impresionan el oído de la persona a la cual se dirige el mensaje.

El micrófono, accionado por una potencia de algunos microvatios, cede a la línea una potencia unas mil veces mayor; se comporta, pues, no solamente como un transformador de las vibraciones sonoras en señales eléctricas, sino que además lo hace como un amplificador de potencia. La energía suplementaria proviene del generador de corriente que lo alimenta, en este caso la pila.

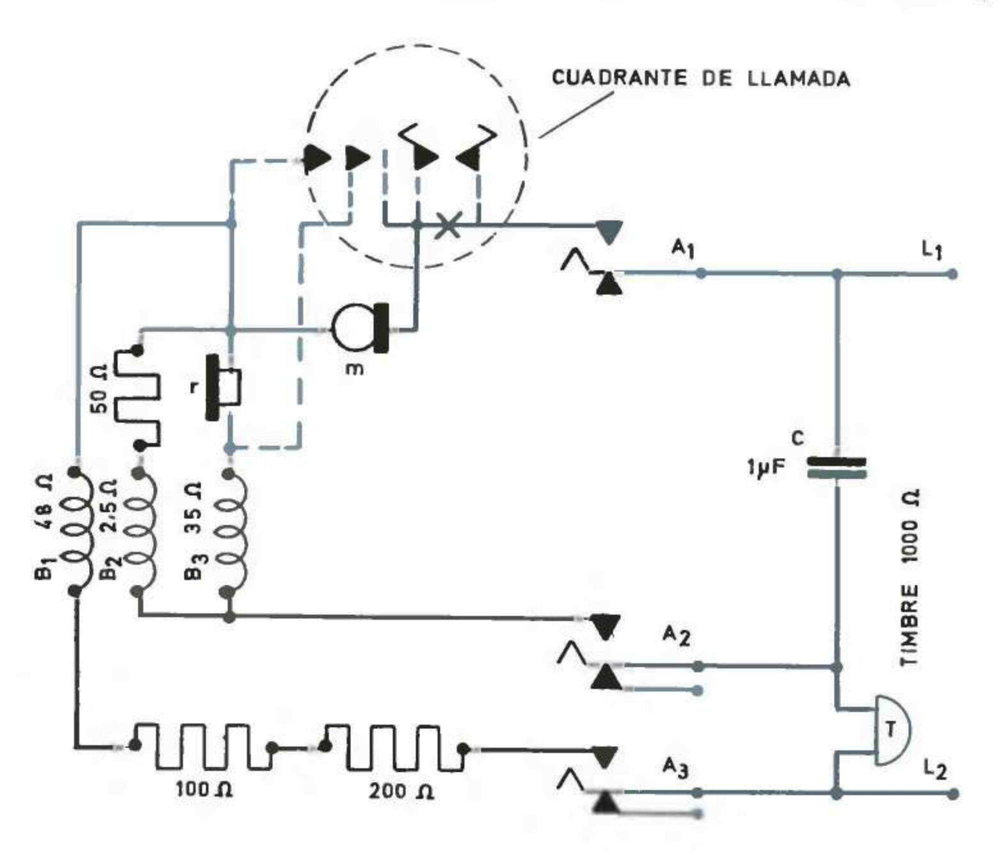
CONSTITUCION DE LOS APARATOS TELEFONICOS MISION DEL MICROFONO Y DEL RECEPTOR TELEFONICO

Los aparatos telefónicos son sistemas electroacústicos que comprenden los elementos siguientes: un micrófono (normalmente de grafito o granalla de carbón) basado en la variación de resistencia de los contactos entre elementos grafíticos cuando están sometidos a variaciones de presión; un receptor o auricular de imán permanente y una bobina de inducción.

Misión del microfono y del receptor telefónico

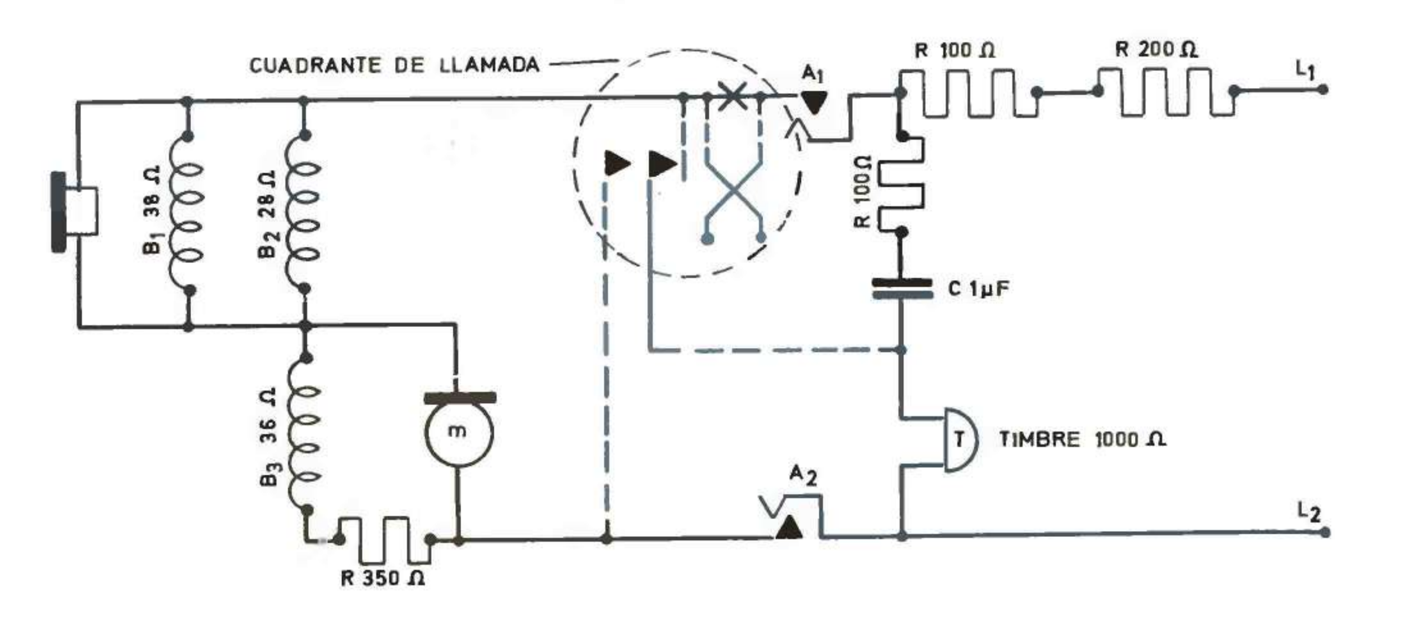
El micrófono es un sistema electroacústico que debe su poder amplificador a la energía de la bateria de alimentación. Este poder amplificador puede ser evaluado en 30 dB (decibelios), admitiendo que el nivel de energía acústica de la voz sea de 90 fonos y la potencia eléctrica disponible en el micrófono de 1 mW. Digamos que el decibelio (dB) es un submúltiplo del belio y que éste es la unidad relativa de potencia sonora. Esta unidad resulta un poco complicada, debido a que es una unidad relativa. Se define diciendo que un belio es la relación existente entre dos potencias sonoras cuando el logaritmo decimal de dicha relación es 1, o sea, cuando una de ellas es diez veces mayor que la otra.

El receptor telefónico es, por lo contrario, un sistema electroacústico pasivo, cuyo objeto es transformar la energía eléctrica (algunas décimas de mW) en energía acústica (algunos microvatios). Su rendimiento, muy débil, es del orden de varias milésimas. La figura representa un aparato telefónico en servicio normal, con su bobina de inducción y dos órganos secundarios desde el punto de vista de la transmisión telefónica: el condensador del timbre y el timbre de llamada.



m = micrófono.
L_1, L_2 = lineas.
r = receptor.
B_1, B_2, B_3 = bobina de inducción de tres arrollamientos.
T = timbre.
C = condensador de timbre.
A_1, A_2, A_3 = contactos del conmutador de gancho.

Los aparatos telefónicos reciben el nombre DE BATERÍA CENTRAL O DE BATERÍA LOCAL, según la corriente de alimentación sea producida por la batería de acumuladores de la central telefónica, a la cual está conectada la línea del abonado, o por una batería de dos elementos de pila, situados localmente junto al aparato, cuya fuerza electromotriz global es del orden de tres voltios. La intensidad normal de la corriente de alimentación microfónica es de unos 55 mA. A continuación se representan los esquemas de principio de los dos tipos de montaje.



Esquema de principio de un aparato de batería central.

Esquema de principio de un aparato de batería local. Con pilas.

CARACTERISTICAS DE LOS APARATOS TELEFONICOS

Los aparatos telefónicos se estudian, en especial, basándose en las dos siguientes características principales:

EFICACIA. Concierne al comportamiento electroacústico y es el rendimiento global teniendo en cuenta las propiedades medias de la voz y del oído.

NITIDEZ. Concierne a la calidad de inteligibilidad de la palabra transformada y reproducida por los sistemas de transmisión.

Las medidas correspondientes a estas dos características de los aparatos telefónicos son propias de la técnica llamada telefonometría, originaria de Estados Unidos.

NOCIONES DE TELEFONOMETRIA
RENDIMIENTO O EFICACIA

La medida del rendimiento puede determinarse por el método subjetivo o por el objetivo.

En el método subjetivo la medida del rendimiento se hace por comparación, por la voz y el oído, del sistema telefónico considerado y un sistema patrón de alta calidad, del que se conoce la curva de eficacia en función de la frecuencia. Esta curva represgenta la relación en barios por barios de las presiones medidas en los diafragmas respectivos del micrófono y del receptor de referencia en condiciones determinadas. Esta curva es conocida y controlable, así como las curvas de respuesta correspondientes, en voltios/bario y en barios/voltio, del sistema emisor y del sistema receptor. Si los dos sistemas son de alta calidad su eficacia puede representarse por un único valor medio. Los valores adoptados por los diversos elementos del sistema de referencia son:

0'0266 voltios/bario para el sistema emisor.
16'28 barios/voltio para el sistema receptor.
0'43 bario/bario para el sistema completo, con línea.

El bario es la unidad de presión empleada para presiones pequeñas. Corresponde a la presión ejercida por la fuerza de una dina sobre la superficie de 1 cm^2.

El equivalente de referencia de un sistema completo X, o de una o varias partes de las tres componentes del sistema, se define por la comparación telefonométrica entre el sistema X y el sistema de referencia, o las partes correspondientes de los dos sistemas. Esta comparación se ejecuta subjetivamente, por la voz y al oído, por dos operadores: uno habla en el extremo emisor y otro escucha en el extremo receptor. El primero repite alternativamente frente a los dos extremos emisores una frase convencional, de estructura fonética conveniente, mientras el segundo compara las dos impresiones sonoras que recibe por escucha alternada y las iguala debilitando la recepción más fuerte un número conveniente de decibelios. Este número define el número equivalente del sistema X si se tienen en cuenta ciertas precauciones: posición normalizada de los labios del operador frente al micrófono, orientación del micrófono, potencia normalizada de la voz, condición definida de alimentación del micrófono.

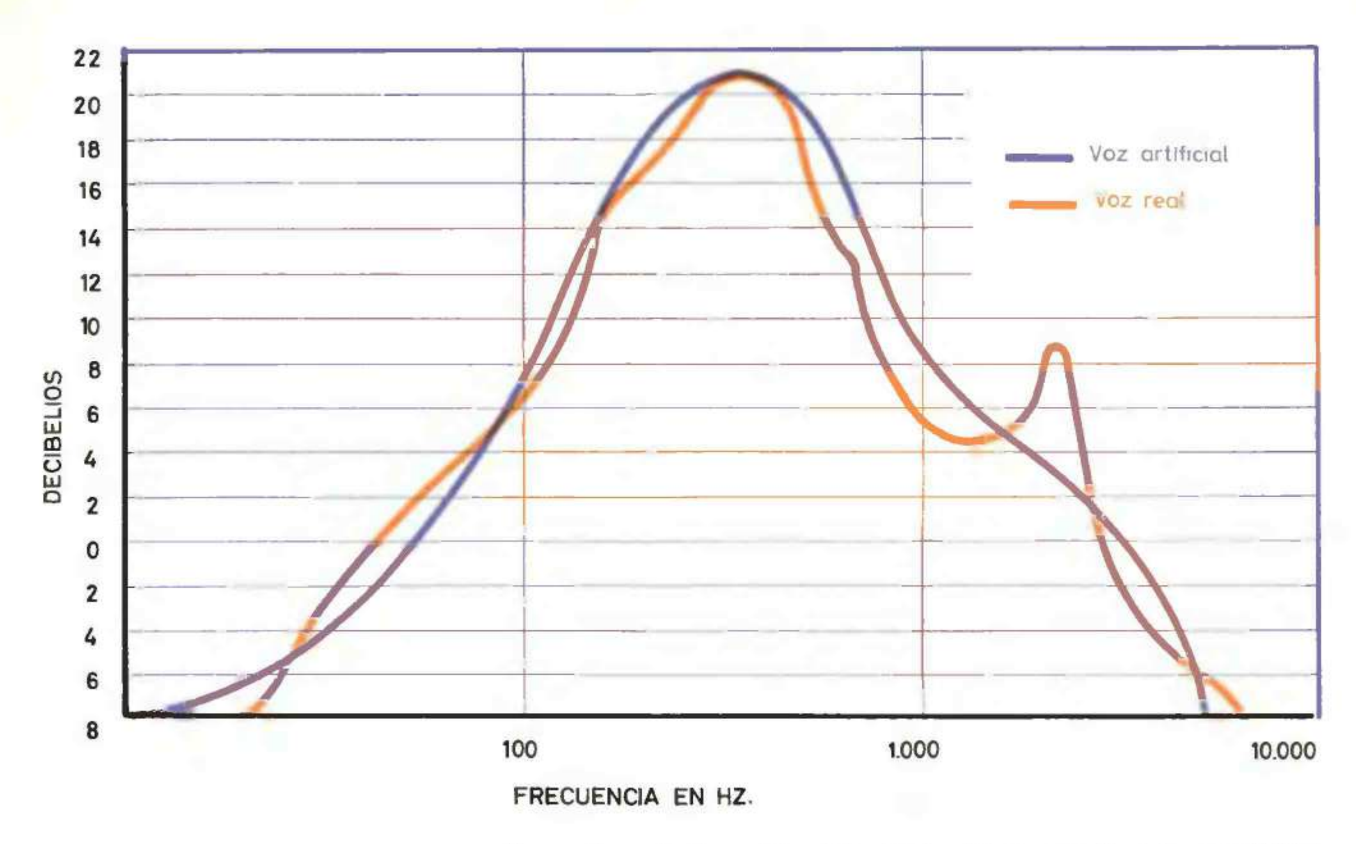
El equivalente de referencia depende, tal como hemos visto, de las cualidades propias de la voz y del oído de los operadores.

Para evitar estos inconvenientes se procura, cada día más, sustituir los operadores por procedimientos mecánicos, utilizando voz, oídos y bocas artificiales o sea que el sistema objetivo se basa en la sustitución de los operadores por medios físicos de propiedades equivalentes a las de los órganos o mecanismos naturales que se trata de reemplazar.

A continuación reproducimos algunos de los aparatos utilizados, así como curvas de voz natural y artificial.



Sección de la boca artificial usada por la Sociedad Siemens y Halske para el ensayo rápido de los micrófonos y los receptores.



Curvas de corriente medida en los bornes del aparato. Para la voz artificial y la voz natural.

NITIDEZ

La nitidez o inteligibilidad es la principal característica de las comunicaciones telefónicas, pues no puede olvidarse que el principal objetivo del sistema telefónico es servir de enlace en la transmisión del pensamiento desde el cerebro del que habla hasta el cerebro del que escucha. La nitidez se refiere concretamente a la compresión de las palabras y las frases de una conversación. La nitidez se mide por la proporción de las palabras —o mejor dicho de las frases— correctamente recibidas en relación al número total de frases transmitidas. Si bien, desde el punto de vista teórico, esta definición conserva su interés y puede tener aplicaciones prácticas desde un punto de vista experimental, se ha reconocido, después de largo tiempo, que es más rápido y más preciso utilizar elementos fonéticos extraídos del lenguaje pero que por sí solos no tienen ningún significado. Estos elementos fonéticos reciben el nombre de logatomos.

Para sistematizar la medida de la nitidez y eliminar el factor inteligencia se utilizan listas de palabras especiales llamadas logatomos, convencionalmente formadas de tres sonidos o grupos de sonidos: un grupo de sonidos de consonantes iniciales, un sonido de vocal intermedio y un sonido o grupo de sonidos de vocales finales. Para poder efectuar ensayos de carácter internacional estos logatomos se han formado con los sonidos del esperanto (idioma internacional). Cada uno de ellos tiene, pues, el mismo valor de principio en cualquier país. Los logatomos se han agrupado en gran número de listas de cincuenta logatomos, distintas unas de otras, que contienen una proporción uniforme de los diversos sonidos y presentan, por consiguiente, las mismas dificultades de pronunciación, de transmisión y de comprensión. A continuación reproducimos una de estas listas.

Los ensayos de nitidez deben, para tener sentido, ser ejecutados por un equipo suficientemente numeroso (cinco operadores) y bien entrenado. Su naturaleza estadística impone igualmente, en la recepción, la escucha de un número de listas suficiente: treinta como mínimo. Puesto que es posible la descomposición de los logatomos en tres sonidos, es fácil ver que la nitidez para los sonidos es igual a la raíz cúbica de la nitidez para

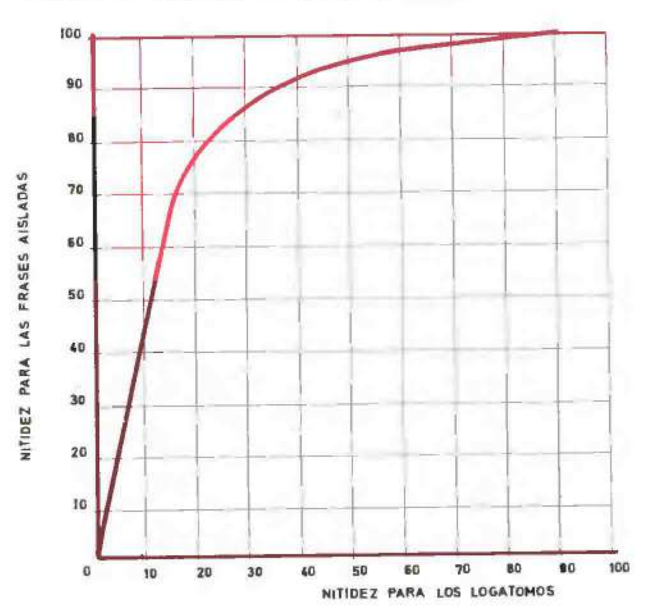
LISTA DE LOGATOMO N.° 258

klost	mir	bric	viz
vor	cur	loz	kuk
blam	gag	bos	buf
tuk	slaft	trip	spec
pled	fluv	dest	zul
nol	steng	gib	krev
nis	rus	tuv	srers
vlaf	pic	glos	dran
psot	prem	gret	teb
san	cem	furs	son
stap	jas	sit	loft
strid	frang	slul	moc
hag			sis

los logatomos. Reproducimos algunas curvas de nitidez para los sonidos y para las frases aisladas.

Los ensayos de nitidez ponen en evidencia los efectos de la distorsión (se entiende por distorsión una deformación de las ondas entre la entrada y la salida del sistema de transmisión considerado, micrófono-línea-auricular), del debilitamiento y los ruidos representativos de estos efectos; resultados que han sido publicados en los diversos tratados de electroacústica, después de los trabajos originales de Fletcher y de Steinberg. Las tensiones de ruido se miden con un voltímetro especial, el cual tiene un circuito filtrante representativo de la sensibilidad del oído en las condiciones de la telefonía comercial. Este aparato recibe el nombre de psofómetro.

Curva de nitidez para los sonidos en función de la nitidez para los logatomos. $N_s = \sqrt{N_l}$.



Curva de nitidez para las frases aisladas, en función de la nitidez para los logatomos.

APARATOS ELECTROACUSTICOS - MICROFONOS

El micrófono es el aparato electroacústico más adecuado para estudiar el campo acústico en las condiciones prácticas más variadas. Para este objeto solamente pueden utilizarse micrófonos de funcionamiento muy estable y sensibilidad uniforme para una frecuencia determinada.

Empezaremos por la descripción de los micrófonos de alta calidad, usados en radiodifusión y en la técnica de las medidas acústicas, en razón de sus propiedades físicas bien definidas, de su calidad y estabilidad, para terminar con los micrófonos usados en la formación de los puestos telefónicos de abonado, de los que no se exige una calidad excepcionalmente elevada.

DEFINICION DEL MICROFONO

El micrófono es un aparato electroacústico que transforma energía acústica en energía eléctrica. En esencial está formado por un elemento sensible a la presión o a la velocidad del campo acústico y por un dispositivo transformador o productor de energía eléctrica. El rendimiento de esta transformación es la eficacia del micrófono, que está caracterizada por la eficacia absoluta.

CARACTERISTICAS DEL MICROFONO

El funcionamiento de un micrófono se caracteriza por su eficacia absoluta y su direccionalidad, cualidades que, en cierto modo lo difieren y que pasamos a estudiar.

EFICACIA ABSOLUTA ε

La eficacia absoluta, para una frecuencia dada, se define por la relación existente entre la diferencia de potencial *u* medida en los bornes del micrófono y la magnitud del parámetro acústico característico del fenómeno que los origina, corrientemente la presión.

$$\varepsilon = \frac{u}{p}$$

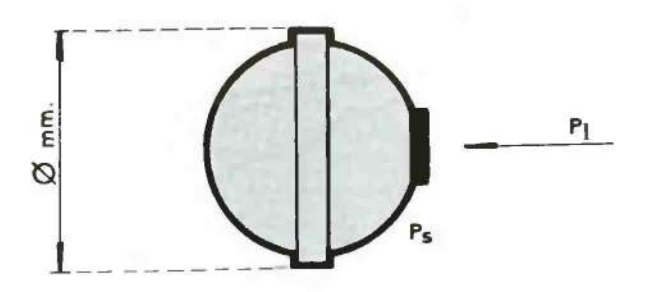
siendo:

u = tensión entre los bornes del micrófono, expresada en voltios;

p = presión del campo acústico, expresada en barios.

Por tanto, la eficacia absoluta se expresa en voltios por bario (voltios/bario). Si se mide la presión acústica en el diafragma del micrófono ($_{Pd}$), la relación precedente define la eficacia intrínseca. Si la presión acústica medida es la de la onda en propagación libre ($_{Pe}$), antes de l aintroducción del micrófono en el campo acústico, la relación define la eficacia extrínseca, la cual tiene en cuenta el efecto de obstáculo sobre la onda sonora ejercido por el micrófono.

La figura muestra el efecto de obstáculo ejercido por un micrófono esférico sobre la onda sonora.



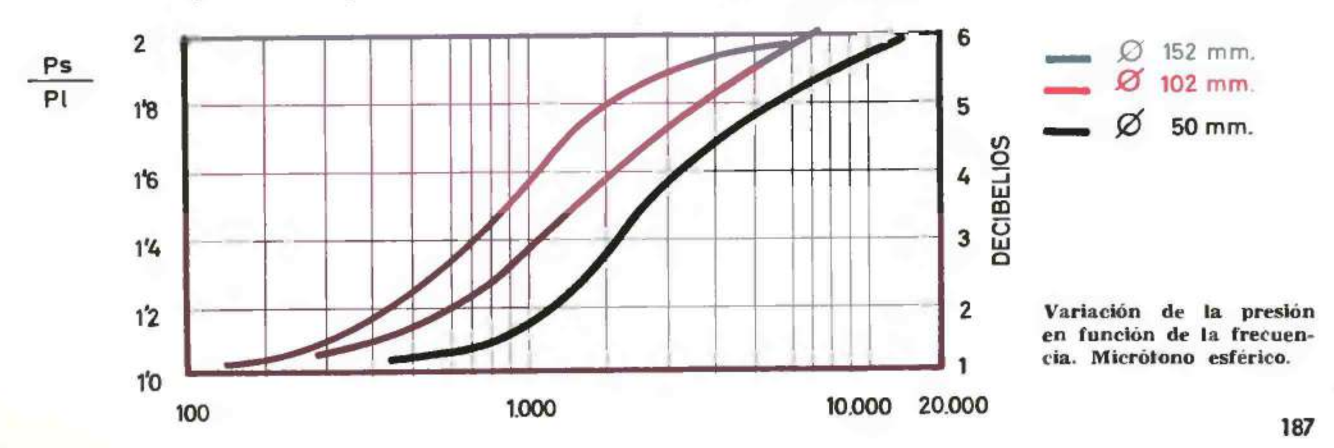
P_s = presión sobre el polo de la esfera.
P_l = presión de la onda libre.
Ø = diámetro de la esfera en milímetros.

CURVA DE RESPUESTA

Las relaciones que definen las eficacias intrínseca y extrínseca varían notablemente de una frecuencia a otra; es preciso para caracterizar un micrófono, por tanto, trazar la curva de las eficacias absolutas en función de las frecuencias. Esta curva recibe el nombre de curva de respuesta del micrófono. Las eficacias absolutas por lo general se reducen a una base convencional de 1 voltio/bario y se transforman en decibelios. La curva se traza sobre dos ejes cartesianos, el de las abscisas graduado logarítmicamente en frecuencias y el de las ordenadas graduado en decibelios por relación a la base de referencias.

$$N\ (dB) = 20\ \log\ \varepsilon = 20\ \frac{u\ \text{voltios}}{p\ \text{barios}}$$

La gráfica de la figura representa la variación de presión sobre el polo de una esfera en función de la frecuencia, para diversos valores del diámetro de la esfera.

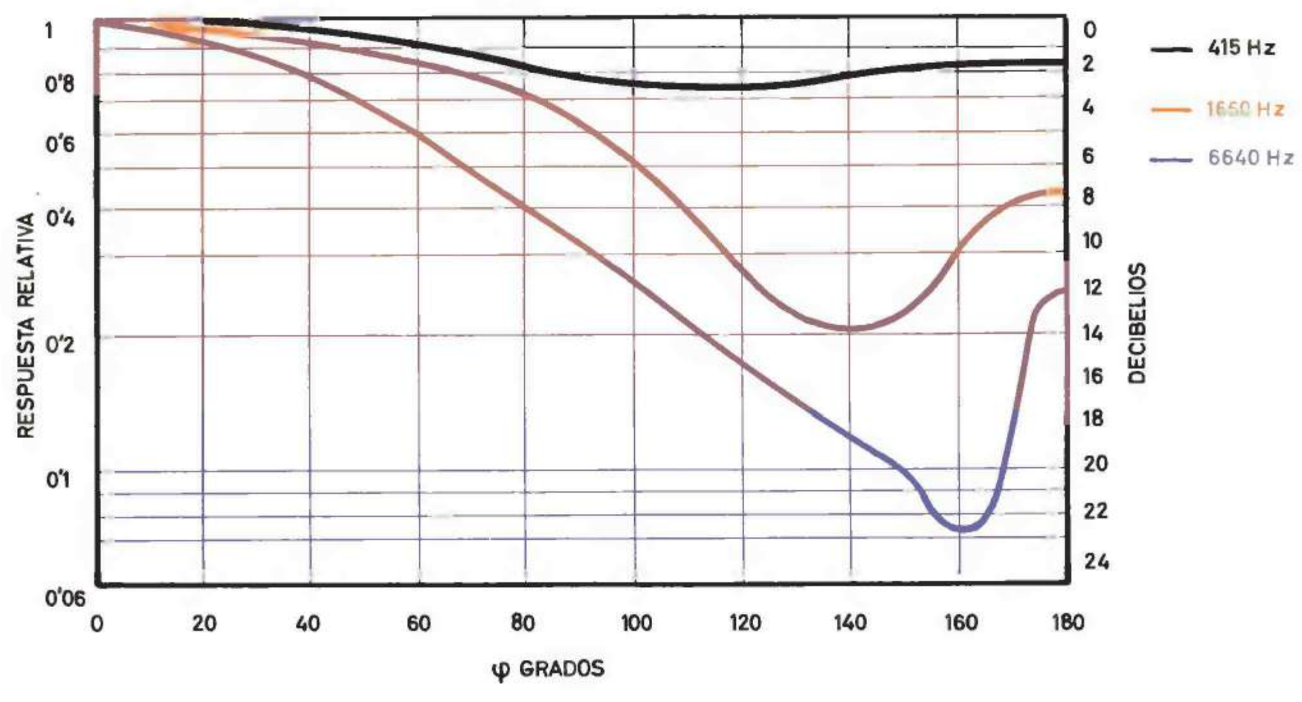


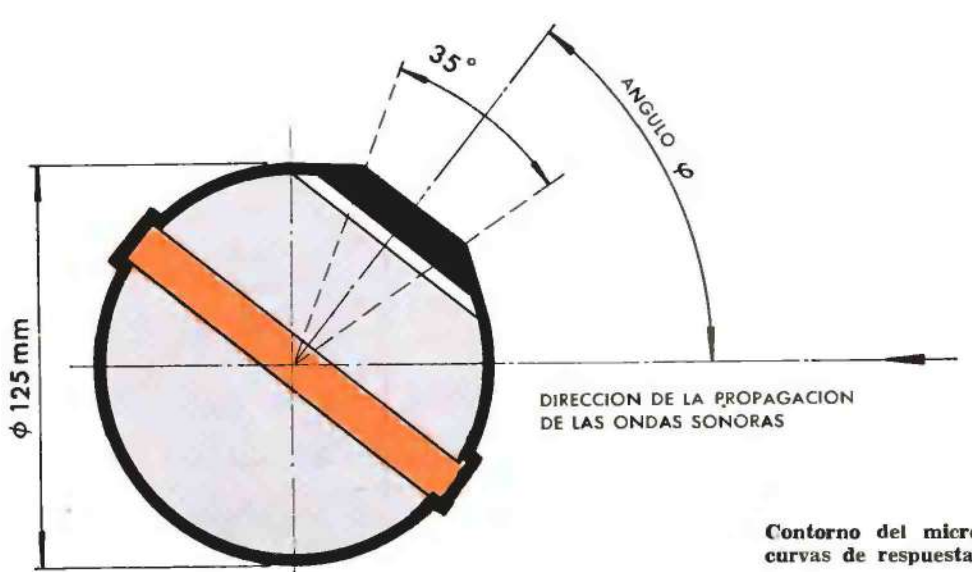
Variación de la presión en función de la frecuencia. Micrófono esférico.

DIRECCIONALIDAD

La experiencia ha demostrado que la sensibilidad y la respuesta de un micrófono —es decir, la eficacia absoluta ε intrínseca— generalmente varían mucho con la orientación del micrófono en relación a la dirección de propagación de las ondas sonoras y según la forma de la caja microfónica.

Para caracterizar un micrófono es preciso trazar sus curvas de direccionalidad, las cuales dan para cada frecuencia la variación de la eficacia del micrófono, en función del ángulo formado por el eje del micrófono y la dirección de propagación de la onda sonora. La figura representa la curva de variación de p_s/p_l (o sea la respuesta relativa) de la presión P_s sobre el polo de una esfera a la presión P_l en la onda libre, para diferentes frecuencias. Como puede verse en la curva, esta relación varía con la latitud del punto considerado; presenta un mínimo para los ángulos superiores a 90°, mínimo que se acentúa al aumentar la frecuencia. Este mínimo no corresponde a los 180°, como sería lógico creer a priori.





Contorno del micrófono al que corresponden las curvas de respuesta relativa.

MICROFONOS DE PRESION - MICROFONOS DE VELOCIDAD

Como hemos visto ya, desde el punto de vista del funcionamiento físico existen dos clases de micrófonos, de presión y de velocidad, según sean actuados por la presión o por la velocidad de la onda sonora.

Los micrófonos de presión constan de un diafragma de gran rigidez mecánica que, expuesto a la onda sonora, ejerce una acción de obstáculo y la deforma, sin que ellos sean modificados de forma apreciable. A este tipo pertenecen los micrófonos de condensador, piezoeléctricos y de carbón entre otros.

Los micrófonos de velocidad están constituidos por un elemento móvil que produce, por inducción, una fuerza electromotriz dependiente de la velocidad del movimiento. A este tipo pertenecen el micrófono electrodinámico de bobina móvil y el micrófono de cinta.

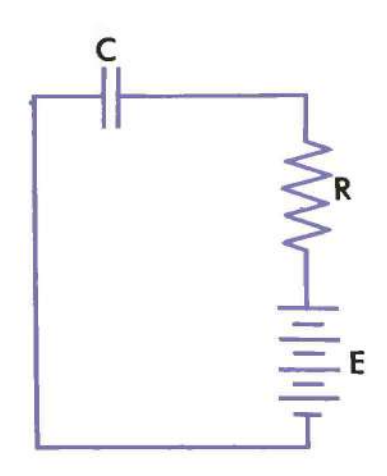
DESCRIPCION Y FUNCIONAMIENTO DE LOS DIVERSOS TIPOS DE MICROFONOS

MICROFONO ELECTROSTATICO O DE CONDENSADOR

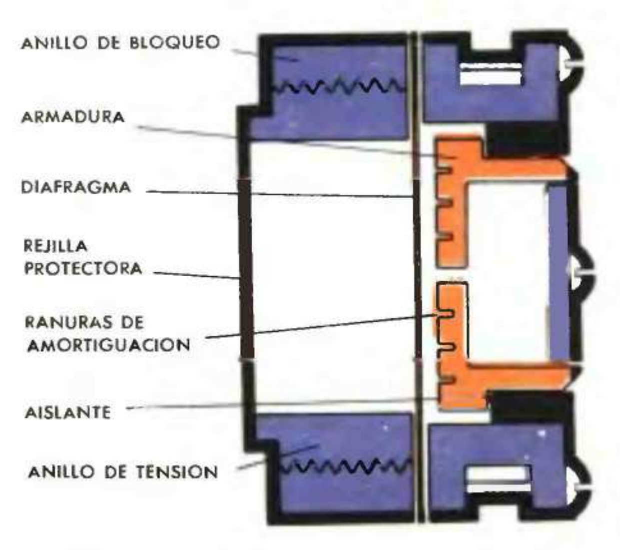
El micrófono electrostático es un micrófono de presión en principio formado por un condensador de capacidad C montado en serie con una resistencia R y polarizado por un generador de corriente continua, generalmente una batería de acumuladores, de fuerza electromotriz E. La figura representa el esquema eléctrico de un micrófono electrostático. Una de las armaduras del condensador es rígida, mientras la otra, expuesta a las ondas sonoras, forma el diafragma. Excitado por la presión acústica P de la onda sonora, el diafragma entra en vibración y se modifica la capacidad del micrófono según la variación de la distancia que separa las armaduras del condensador. La variación de capacidad C es aproximadamente proporcional a la variación de la distancia entre armaduras y a la presión P, ya que las fuerzas y desplazamientos que intervienen son muy pequeños. Al variar la capacidad C varía también la tensión *e* en los bornes del micrófono. Con ello habremos convertido las variaciones sonoras en variaciones eléctricas.

Para evitar deformaciones de la curva de respuesta en la zona de las bajas frecuencias la resistencia R debe ser tan grande como sea posible. En la práctica C alcanza un valor comprendido entre 100 y 250 μF, y R llega hasta 200 MΩ. En el valor de C está comprendida la capacidad del cordón de unión del micrófono y el amplificador al que está conectado. Para evitar pérdidas de sensibilidad y distorsiones se procura reducir al mínimo la longitud del cordón, montándose el micrófono si es posible, de modo que forme conjunto con el amplificador.

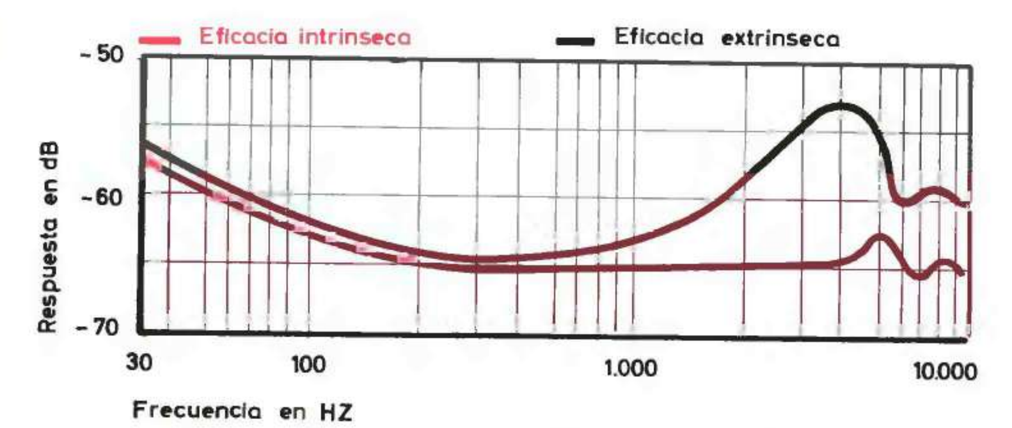
El micrófono de condensador representado en la figura ha sido empleado como aparato de referencia durante muchos años.



C = condensador
R = resistencia
E = fuerza electromotriz de polarización.



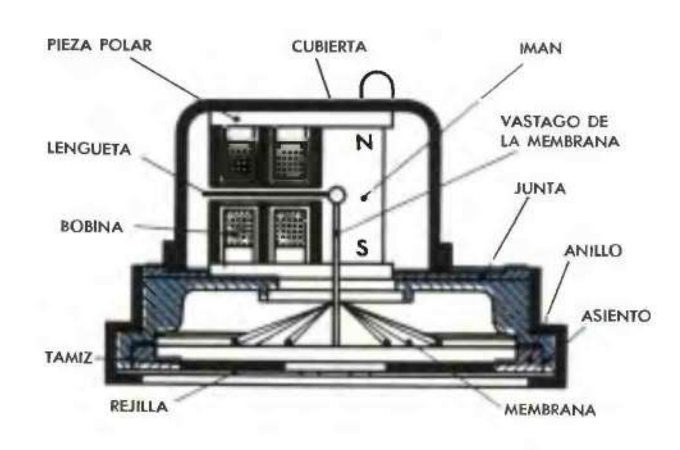
Sección del micrófono



Para bajas frecuencias, la eficacia intrínseca y extrínseca son iguales. Para altas frecuencias difieren en 6 dB debido al efecto de obstáculo, y a que la cavidad situada delante del micrófono añade un efecto de resonancia que se traduce por un aumento de otros 6 dB.

MICROFONO ELECTRODINAMICO

El micrófono electrodinámico es un micrófono de velocidad. Está formado en esencia por una bobina móvil, consistente en una cinta de aluminio aislado, arrollada sobre sí misma y solidaria de un diafragma de duraluminio. La bobina está situada en el campo radial de un imán, el cual tiene un polo central y un polo anular. Por la acción de las ondas acústicas, el diafragma vibra como un pistón y arrastra consigo la bobina, la cual, al cortar las líneas de fuerza magnéticas, produce una fuerza electromotriz de igual frecuencia que la onda acústica incidente. La figura representa el corte de un micrófono de este tipo.



COMPONENTES DE UN SISTEMA TELEFONICO

Los componentes de un sistema telefónico pueden clasificarse, de acuerdo con su función, de la manera siguiente:

1. Aparatos y circuitos para hablar.
   - *a*) Transmisores.
   - *b*) Receptores.
   - *c*) Conexiones del aparato telefónico.
     - *A*) Resonantes.
     - *B*) Antirresonantes.
     - *C*) Hilos de conexión.
   - *d*) Equipo de central telefónica.
     - *A*) Circuitos de interconexión y de suministros de batería (jacks y dicordios). Conmutación mecánica.
     - *B*) Repartidores.
     - *C*) Líneas.
2. Equipos de señales.
   - *a*) En el aparato telefónico.
     - *A*) Magneto.
     - *B*) Gancho conmutador.
     - *C*) Timbre.
   - *b*) En la central telefónica.
     - *A*) Indicadores de línea.
     - *B*) Relevador de línea.
3. Suministro de energía.
   - *a*) Baterías
   - *b*) Equipos para la carga de baterías.
   - *c*) Generadores de llamada.
   - *d*) Generadores de tono.
4. Equipos de pruebas.
5. Equipos de protección.

TRANSMISORES DE CARBON

Los micrófonos de carbón, mejor llamados de grafito, se basan en la variación de resistencia que se produce entre los contactos de los granos de grafito cuando se ejerce sobre ellos una ligera presión. Este fenómeno se aprovecha para modular una corriente continua mediante fuerzas de origen acústico.

Si bien su inestabilidad y ruido de fondo no los hacen adecuados para las medidas técnicas o para las reproducciones de buena calidad, son los más empleados en las transmisiones telefónicas por su gran solidez, su simplicidad y su elevada eficacia. Esta eficacia se debe a que, además de actuar como transformador de energía, el micrófono de carbón es un verdadero amplificador, que recibe microvatios acústicos y restituye milivatios eléctricos. La fuente de energía es la pila o batería que lo alimenta.

La variación de la resistencia que tiene lugar en los diversos contactos del diafragma y del electrodo de carbón, del cual es solidario, se debe a la multiplicación del número de los puntos de contacto y a la variación por deformación elástica de las superficies de contacto bajo el efecto de la presión sonora.

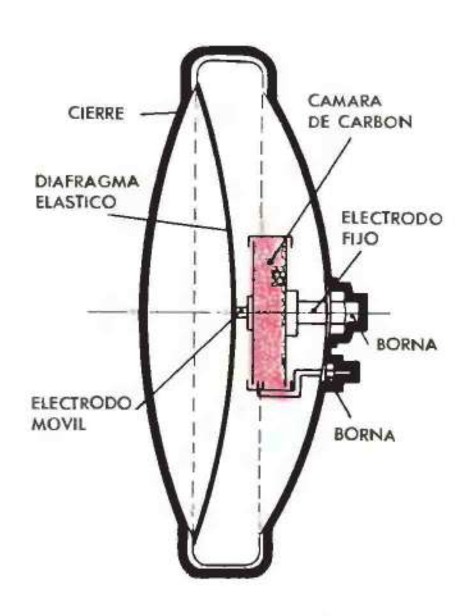
La sensibilidad de los micrófonos de carbón es proporcional a la intensidad de la corriente continua de alimentación, si bien la transformación solamente conserva su carácter senoidal para las intensidades acústicas débiles. De hecho la variación de la resistencia de los puntos de contacto entre el diafragma y los elementos de grafito, o de estos últimos entre sí, no es rigurosamente proporcional.

El grafito debe ser tratado y seleccionado cuidadosamente, eliminando sus impurezas minerales y orgánicas.

La figura reproduce la cápsula de un micrófono de carbón utilizado en los aparatos telefónicos.



Cápsula de micrófono.

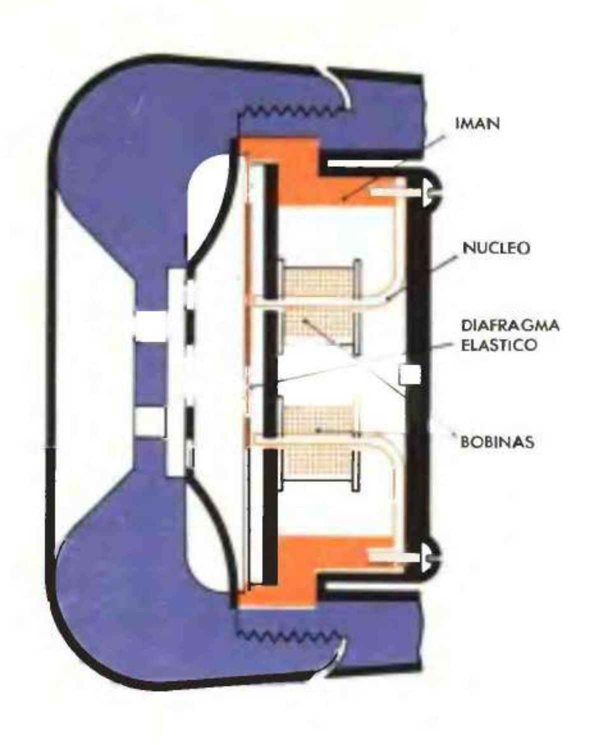


Sección de una cápsula de micrófono.

RECEPTORES TELEFONICOS

Los principios de funcionamiento de los receptores son los mismos que los de los micrófonos, excepto el de carbón. Están formados por tres elementos principales: un imán permanente en forma de herradura, un diafragma de chapa de acero silicioso colocado frente a los polos del imán y un arrollamiento en la pieza polar de cada rama del imán. La tensión de la membrana varía con la corriente que atraviesa el arrollamiento. De esta forma, cuando el arrollamiento es excitado por corrientes producidas por sonidos vocales vibra la membrana, produciendo sonidos vocales.

Vea ahora, en la figura que aparece en la página siguiente, la sección de un receptor telefónico bipolar, moderno.





Cápsula de receptor.

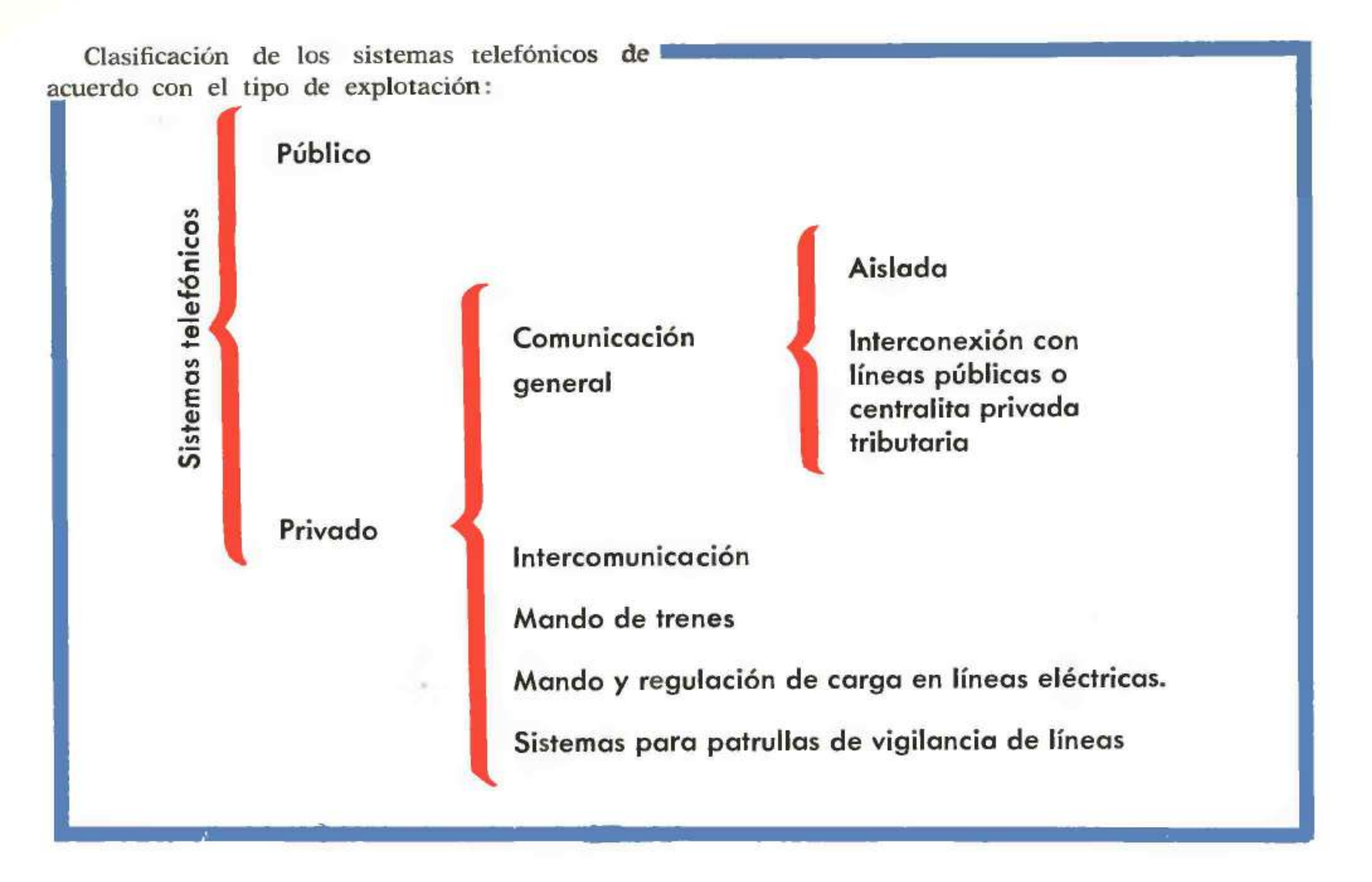
Sección de un auricular telefónico de concepción moderna.

CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS TELEFONICOS

Los sistemas telefónicos, de acuerdo con su forma de funcionamiento, pueden clasificarse de la forma siguiente:

- **Sistemas telefónicos**
  - **Manual**
    - **Batería local o magneto**
    - **Batería central**
  - **Mecánico**
    - **Semiautomático**
      - **Auto-manual**
      - **Panel**
      - **Mando a distanci**
    - **Automático**
      - **Paso a paso**
      - **Panel**
      - **Relevadores**
      - **Rotatorio**
      - **Barras transversales**

Clasificación de los sistemas telefónicos de acuerdo con el tipo de explotación:



SISTEMAS TELEFONICOS PUBLICOS

Los sistemas telefónicos públicos, como su nombre indica, tienen el objeto de dar servicio al público en general.

En este sistema la explotación es comercial; generalmente las tarifas aplicadas están controladas y aprobadas por el Estado.

SISTEMAS TELEFONICOS PRIVADOS

Estos sistemas sirven de auxiliares a una empresa o negocio determinado y no pueden prestar servicio a terceros. Los sistemas privados pueden trabajar de forma aislada o en interconexión con líneas del sistema público, en cuyo caso reciben el nombre de *centralitas privadas tributarias*.

El sistema de intercomunicación es un sistema privado sin conexión con líneas del sistema público.

Los demás sistemas de telefonía privada son de aplicación industrial y con ellos se controlan los servicios de trenes y de distribución de cargas en líneas eléctricas. Estos sistemas no tienen relación ni conexión con los sistemas públicos.

EQUIPO DE ABONADO

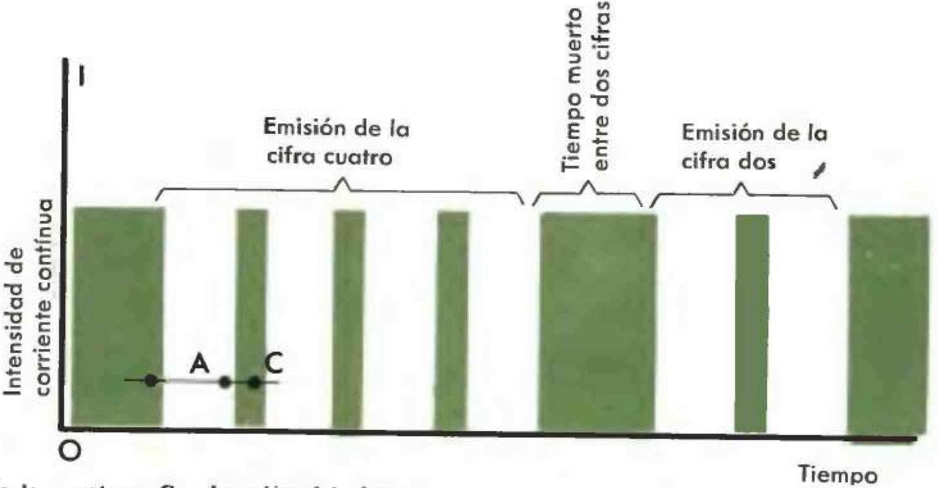
La instalación más simple de abonado está formada por un poste telefónico, dos cables o conexiones interiores y los órganos de protección.

Aquí, la palabra poste no se emplea en su sentido real, sino que significa un conjunto emisor-receptor; en telefonía se les llama *postes*.

POSTE TELEFONICO

El poste telefónico de abonado está formado por un micrófono y un receptor, reunidos en un combinado que recibe el nombre de microteléfono; un receptor de llamada o timbre y un emisor de llamada.

Según el tipo de conmutador de circuito local,



A = duracion de la apertura. C = duración del cierre.

los postes de abonado son de batería local o de batería central. En los postes de batería local el micrófono está alimentado por una pila seca de gran capacidad (generalmente dos pilas de 1'5 V) colocada junto al aparato. La emisión de la señal de llamada en los postes de batería local se hace mediante una magneto telefónica. La señal emitida por la magneto actúa sobre la central telefónica, haciendo caer el indicador o excitando un relé con circuito de guarda.

En los postes de batería central una batería colocada en la central o conmutador alimenta, a través de la línea telefónica, a todos los postes de abonado conectados al circuito. En este caso la emisión de la señal de llamada se hace de la forma siguiente:

Al descolgar el microteléfono se cierra el circuito de corriente continua del relé de llamada del abonado.

Si la línea del abonado está conectada a un autoconmutador o central automática, el poste o aparato de abonado está provisto de un disco numerado, cuya maniobra corta la corriente continua, de la forma indicada en la figura, mediante los resortes de impulsión.

El tiempo de duración de un impulso completo —apertura (A) más cierre (C)— es de 100 milésimas de segundo. La duración de la apertura es doble de la duración del cierre.

La señal de final de comunicación se da por la maniobra de la magneto o al colgar el microteléfono.

La figura inmediata muestra algunos tipos de aparatos o postes de abonado.



Aparato telefónico mural de batería local.



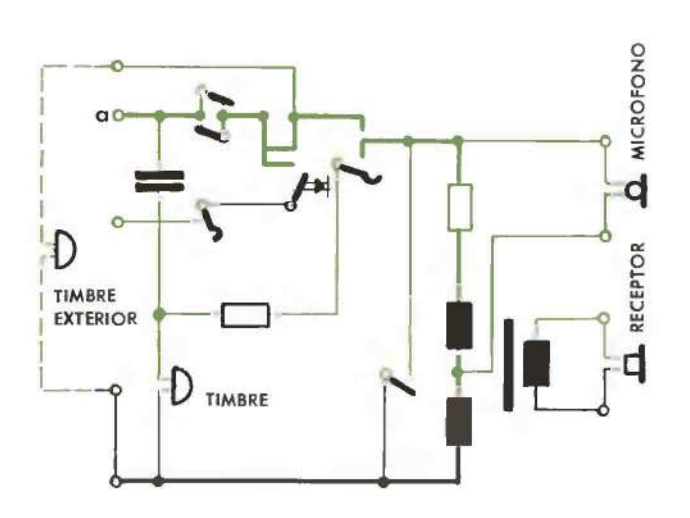
Aparato telefónico de sobremesa de batería central, manual.



Aparato telefónico de batería central, con disco de llamada, para conectar a central automática.



Vista de un aparato telefónico "De Te We", con la tapa quitada.



Esquema de un teléfono "De Te We".



Otro modelo de aparato telefónico con disco de llamada para central automática.

CONMUTACION TELEFONICA

El objetivo de un servicio telefónico universal es conseguir que un abonado converse con cualquier otro abonado. Para lograr este fin es preciso que las líneas que conectan los postes o aparatos, situados en el domicilio de los abonados, pasen por los conmutadores o centrales telefónicas; es decir, instalaciones que permiten asegurar uniones temporales (llamadas conmutaciones) entre dos líneas cualquiera. Estas centrales se dividen en dos tipos.

Las centrales telefónicas reciben el nombre de *urbanas* cuando efectúan la unión o conmutación entre abonados telefónicos de una misma ciudad, e *interurbanas* cuando las conmutaciones se verifican entre ciudades distantes.

Los sistemas utilizados para establecer las conmutaciones necesarias reciben el nombre de manuales cuando la conmutación se efectúa con la intervención de operadores; y automáticos cuando su intervención no es precisa.

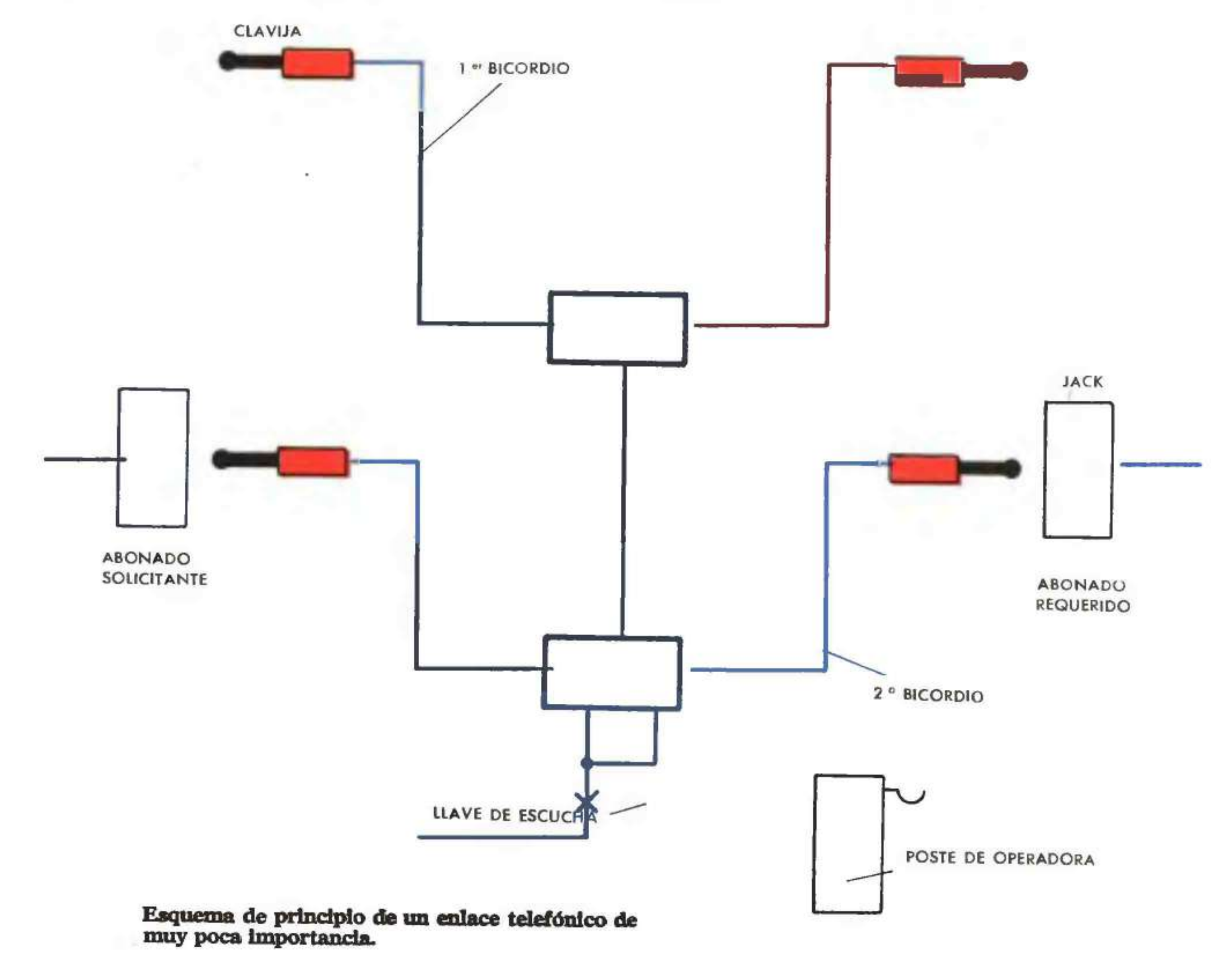
CONMUTACION MANUAL

En la conmutación manual el abonado solicitante establece comunicación con el abonado requerido con la intervención de una o varias operadoras.

La figura representa el esquema de principio de un enlace telefónico en un circuito de muy poca importancia. Una sola operadora puede atender todas las llamadas.

Cada línea termina en la central en un dispositivo de llamada. Una serie de tomas de corriente, que reciben el nombre de *jacks*, sirven para que al colocar una clavija en el *jack* la operadora pase de la llamada a la escucha. Para llamar al abonado requerido se emplea otra clavija. La clavija de llamada y la de respuesta están siempre asociadas y su conjunto recibe el nombre de bicordio.

En las centralitas de mayor importancia pueden colocarse uno junto a otro varios tableros o pupitres idénticos. Cuando el número de estos tableros es muy grande, deben establecerse las comunicaciones mediante líneas de servicio que enlazan las diferentes operadoras dos a dos. En este caso la capacidad del mueble disminuye y el rendimiento de las operadoras baja considerablemente.



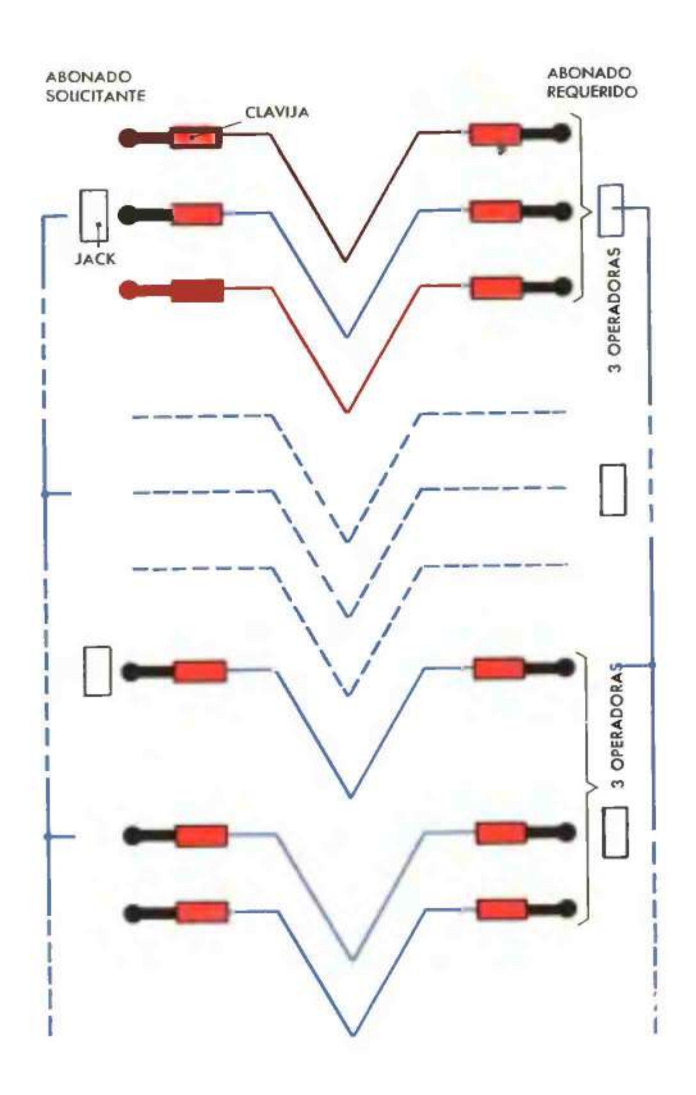
Esquema de principio de un enlace telefónico de muy poca importancia.

CONMUTADOR MULTIPLE

Para conseguir que sólo se requiere una operadora para establecer comunicación entre abonados enlazados a una misma central, se ha realizado el conmutador múltiple. A continuación damos el esquema de principio de un conmutador múltiple.

La experiencia ha demostrado que una operadora puede atender los *jacks* de sus vecinas inmediatas situados por encima de ella, a derecha e izquierda, por lo cual se han tomado disposiciones para que delante de tres operadoras se encuentren los *jacks* de todos los abonados de la central. Ha sido preciso, pues, situar en cada línea que pueda recibir una llamada varios *jacks* conectados en paralelo, o múltiples. Estos *jacks* correspondientes a los abonados requeridos reciben el nombre de *jacks* generales.

La llamada de un abonado se manifiesta en un dispositivo de llamada, asociado a un *jack*, y situado ante la operadora destinada a atender la llamada. Este *jack* recibe el nombre de *jack* local. No es deseable que todas las operadoras atiendan a todas las llamadas; pero es inadmisible que alguna llamada, por estar ocupada la correspondiente operadora, tenga que esperar largo rato. Los *jacks* locales también pueden ser múltiples.



Esquema de principio de un conmutador múltiple.

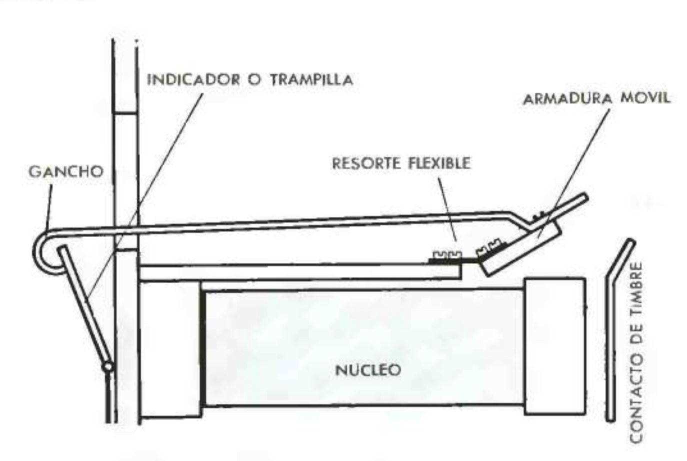
APARATOS UTILIZADOS EN UN ENLACE TELEFONICO

Describiremos sucintamente los distintos órganos que intervienen en una conmutación manual.

ANUNCIADOR O INDICADOR DE LLAMADA

Es el órgano de recepción de llamada en sistemas de batería local. El indicador está formado por un electroimán conectado en serie con la línea del abonado mientras no hay conversación; en caso contrario el electroimán queda fuera del circuito. La figura reproduce un indicador de llamada de este tipo.

La armadura móvil lleva un gancho destinado a mantener, cuando está en reposo, una ficha indicadora móvil alrededor de un eje horizontal, llamada trampilla. Cuando el abonado llama, el electroimán atrae la armadura móvil y la ficha indicadora, liberada de la acción del gancho, cae por gravedad. La armadura, simultáneamente, cierra un circuito de timbre.



Anunciador o indicador de llamada en los sistemas de batería local.

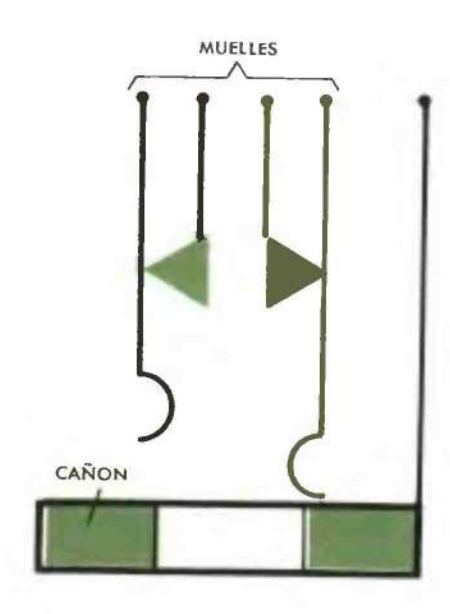
ANUNCIADOR DE FIN DE CONVERSACION

Este aparato se emplea en los postes telefónicos de batería local. Se sitúa sobre los bicordios conectado en derivación en el circuito de conversación. Su construcción es idéntica a la del anunciador de llamada, pero su impedancia es mucho más elevada.

JACK

El *jack* es un bloque o conjunto de resortes de distintas longitudes, montado sobre un anillo de latón (cañón) destinado a guiar la clavija. La figura representa un *jack*.

La introducción de una clavija en un *jack* establece contactos entre los resortes y la clavija, cortando los contactos de reposo de los resortes.



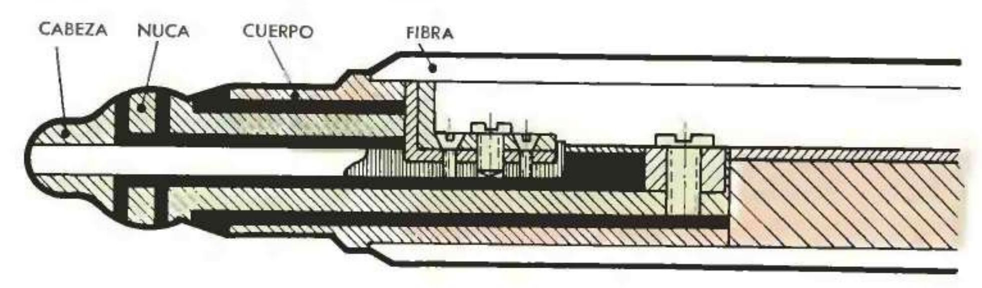
Jack telefónico.



Estos son tres jacks telefónicos.

CLAVIJA

Las clavijas están formadas por dos o tres partes conductoras concéntricas, aisladas unas de otras y conectadas a los hilos de un cordón eléctrico.



Corte de una clavija.

Se utilizan clavijas de tres conductores cuando las líneas de abonado tienen un tercer hilo, que recibe el nombre de hilo privado, conectado al cañón del *jack*. Los tres elementos conductores reciben el nombre de cabeza, nuca y cuerpo, y establecen contacto con el resorte corto, el resorte largo y el cañón del *jack*.

El cuerpo de la clavija está recubierto por una pieza aislante.

Actualmente se tiende a fabricar las clavijas de material aislante inyectado.



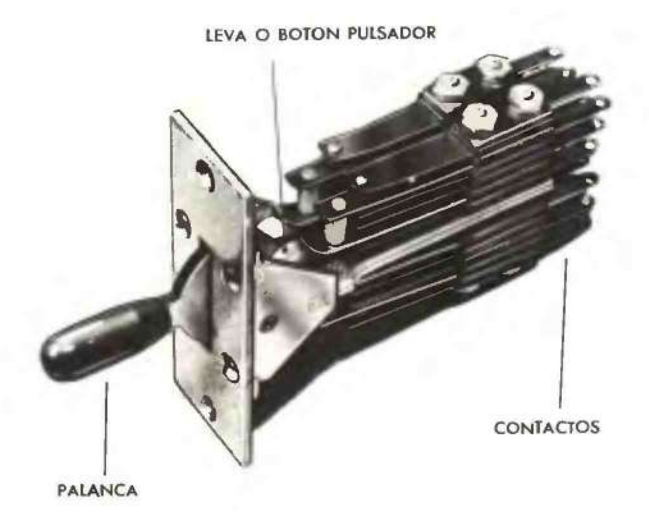
Clavija.

LLAVES

Las llaves son, en definitiva, conmutadores; por lo general los más utilizados son de dos o de tres posiciones. La maniobra en las llaves se hace por medio de una leva llamada botón pulsador. Algunas llaves tienen posiciones de trabajo de retorno automático.

Se utilizan varios tipos de llaves:

1. Llaves de tipo universal. En éstas la maniobra se efectúa mediante una palanca aislante.
2. Llaves de botón. La maniobra se efectúa apretando la cabeza del pulsador. Estas llaves acostumbran ser de retorno automático.
3. Llaves tipo giratorio. La maniobra en estas llaves se efectúa haciendo girar la cabeza de que están provistas.



Llave tipo universal.



Llave de tipo de botón.

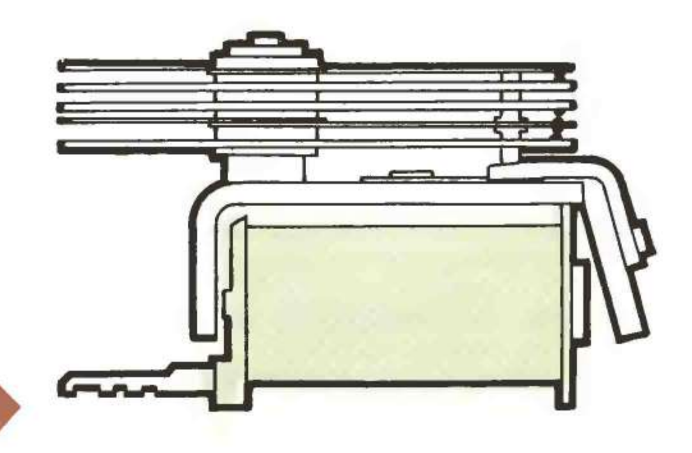


Llave tipo giratorio.

RELES

Los relés son aparatos utilizados en los circuitos de batería central para efectuar, sin la intervención de la operadora, diversas maniobras de conexión y señalización.

El relé es un electroimán cuya armadura actúa, a través de piezas aislantes que reciben el nombre de pulsadores, sobre un número variable de resortes. Estos resortes establecen contactos de reposo y de trabajo.



Relé con cinco contactos; dos normalmente cerrados y tres en comunicación.

LAMPARAS

Las lámparas de señalización usadas en telefonía están formadas por un filamento de carbón soldado a dos hilos metálicos que sirven de soporte. Estos hilos están colocados dentro de la ampolla de vidrio; en los extremos salientes llevan soldadas unas láminas de latón. El consumo de estas lámparas es del orden de 0'1 A, con 48 voltios. Las lámparas se montan en portalámparas especiales. La figura reproduce dos tipos de portalámparas.

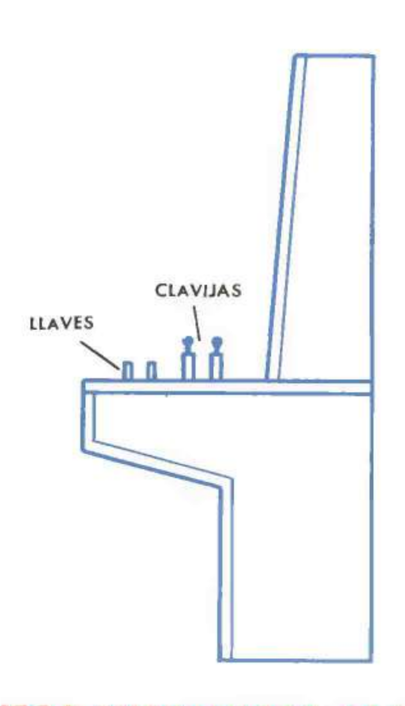


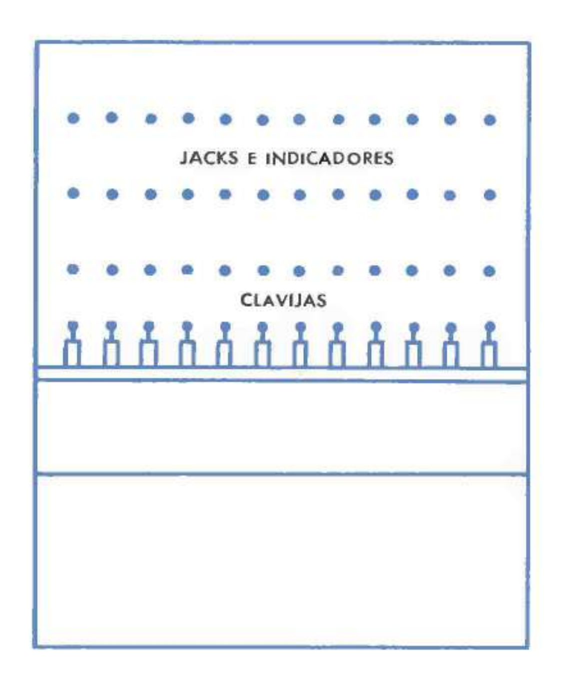
Portalámparas.

MUEBLES

Lo usual es que la operadora esté sentada frente a un mueble, el cual representamos esquemáticamente.

La parte horizontal denominada *keyboard* soporta las llaves, las clavijas y ciertas lámparas de señalización. El panel vertical soporta los *jacks* y los órganos indicadores de llamada (lámparas, etc.), así como las lámparas que indican el estado —libre u ocupado— de las líneas correspondientes.





CIRCUITOS TELEFONICOS DE BATERIA LOCAL

En los circuitos de batería local el micrófono del abonado está alimentado por una pila o batería situada junto al aparato telefónico. Cuando se hace una llamada el abonado, mediante una magneto, envía a la línea una corriente alterna de frecuencia comprendida entre 16 y 50 Hz; la tensión de esta corriente oscila entre 60 y 90 voltios.

Los conmutadores múltiples de batería local no se utilizan en la práctica, por lo que solamente estudiaremos el caso sencillo en que no existe multiplicidad de *jacks*.

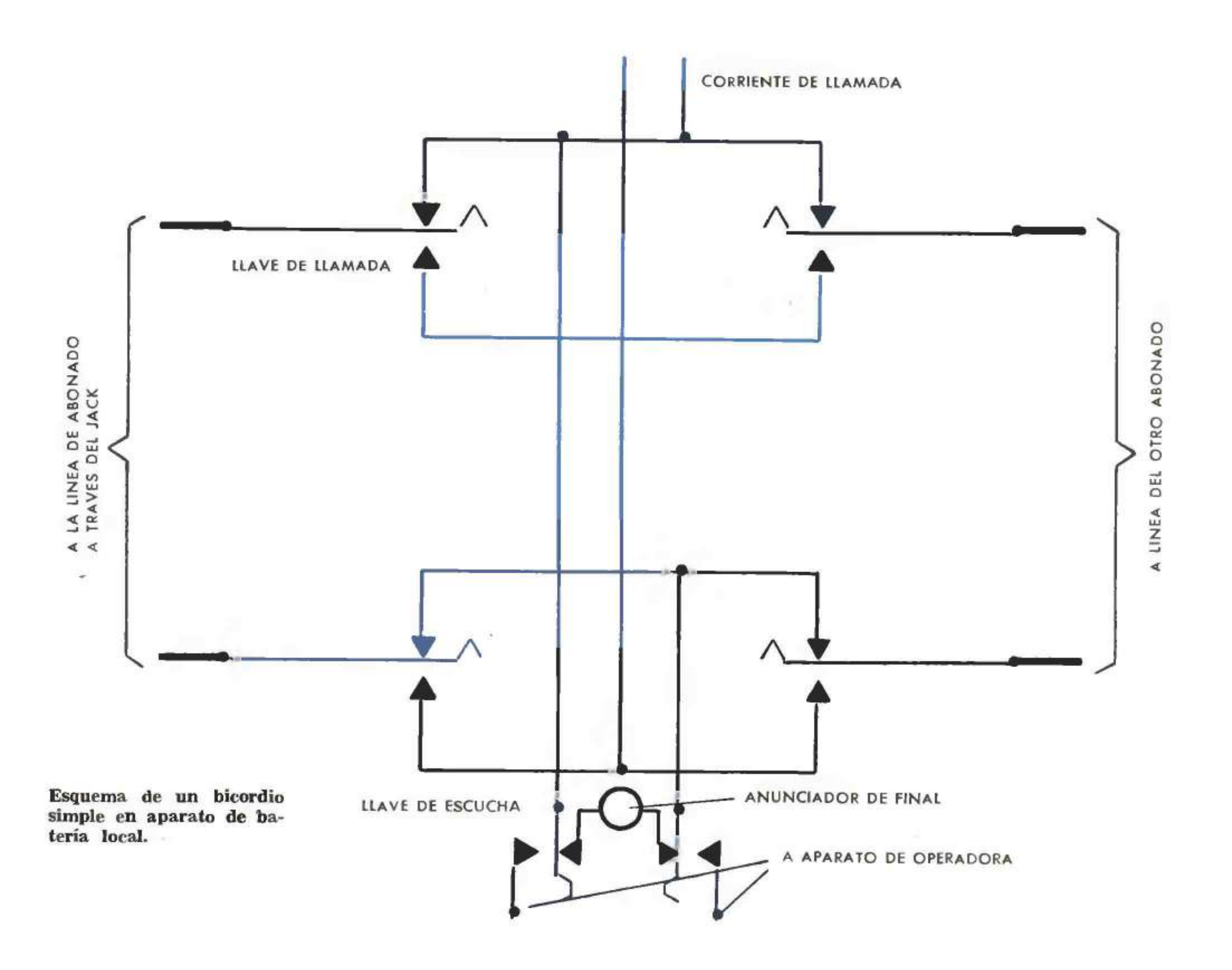
EQUIPO DE LINEA DE ABONADO

Las líneas de abonado terminan en un *jack*, los contactos de reposo del cual conectan el anunciador en serie con la línea del abonado. Este equipo es muy sencillo y no precisa contacto con el cuerpo de la clavija, que sólo tiene dos conductores, conectados a la nuca y la punta.

BICORDIO

En este caso cada bicordio debe permitir la llamada y la escucha de cada abonado. La figura representa el esquema de un bicordio simple de batería local, que permite estas operaciones. Los hilos de conversación pasan por los contactos de una llave de llamada. Esta llave permite llamar por separado a cada uno de los dos abonados. El aparato de operadora se conecta en derivación sobre los contactos de trabajo de una llave de escucha; el anunciador de final queda conectado en derivación a través de los contactos de reposo.

En los aparatos de batería local la operadora solamente recibe aviso del fin de la conversación si uno de los abonados, al terminar de hablar, hace girar la manivela del magneto de su aparato telefónico.

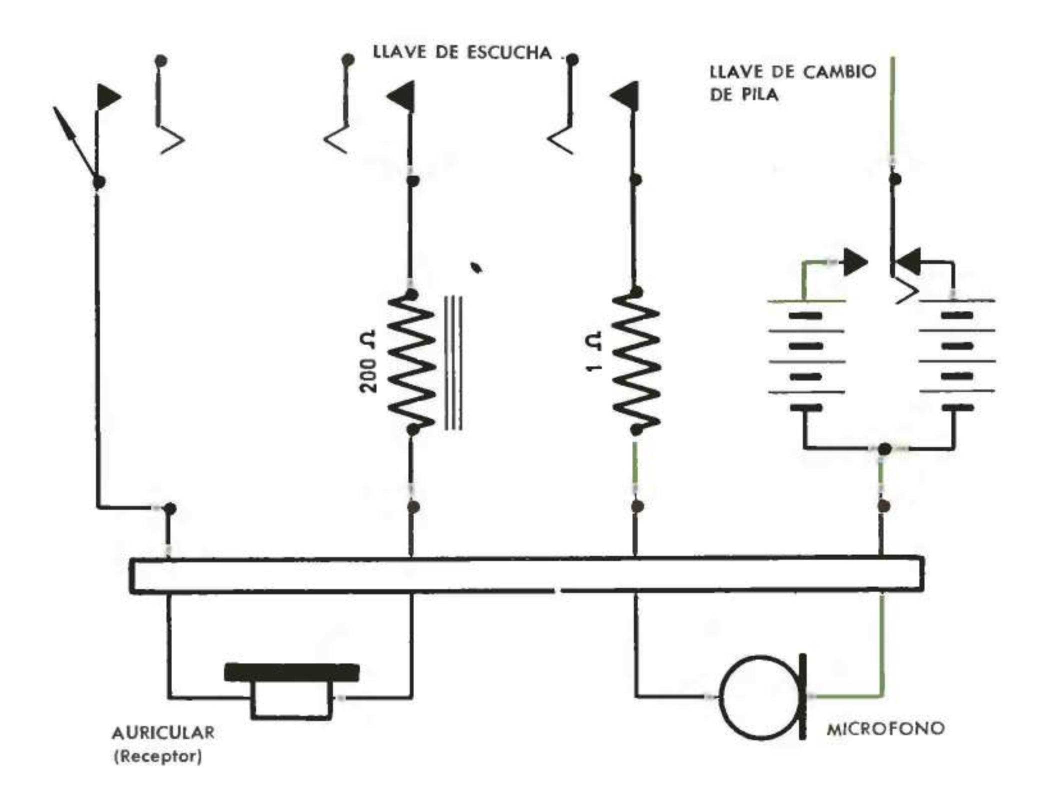


Esquema de un bicordio simple en aparato de batería local.

APARATO O POSTE DE OPERADORA

El aparato de operadora en circuito de batería local está formado por una bobina de inducción, cuyo secundario está en serie con el receptor; el primario cierra circuito con el micrófono y la pila. La figura representa el esquema básico de un aparato de operadora de batería local.

El micrófono y el receptor pueden estar asociados en un combinado (microteléfono, o bien un micrófono fijo y un auricular con soporte para sujetar a la cabeza).



Esquema de un aparato de operadora.

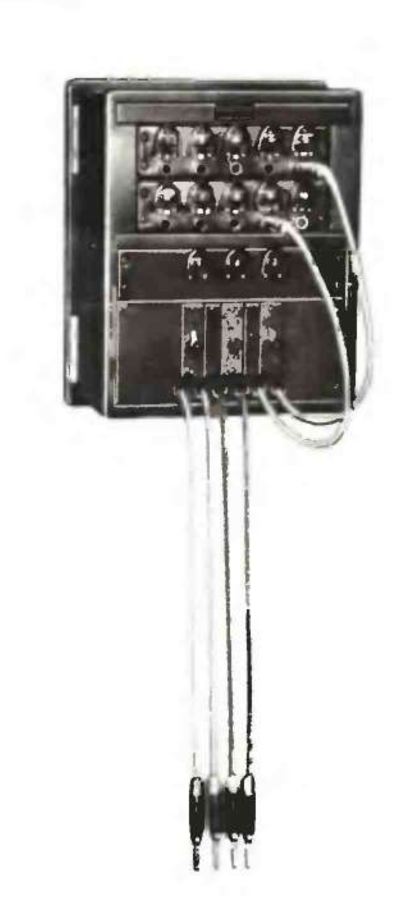
TIPOS DE INSTALACIONES DE BATERIA LOCAL

CENTRALITAS TELEFONICAS DE BATERIA LOCAL

La firma Standard Eléctrica, S. A., construye una amplia gama de centralitas telefónicas manuales de batería local, desde cinco a ciento cincuenta líneas. El aparato más sencillo es el cuadro conmutador, que se fabrica desde cinco hasta treinta líneas.

Estos cuadros conmutadores establecen la conexión entre los diversos aparatos telefónicos de una instalación de batería local. Pueden entablarse tantas conversaciones simultáneas como circuitos de cordón tenga el equipo.

La fotografía representa un cuadro de cinco líneas.



Las llamadas de las diferentes líneas se reciben mediante indicadores, accionados al girar la magneto del aparato que llama, y que se reponen automáticamente al introducir la clavija en el *jack* correspondiente. Todas las conexiones se establecen por medio de cordones que terminan en clavijas. Cada circuito de cordón está provisto de su correspondiente llave de escucha e indicador de fin de conversación.

El equipo de operadora está formado por un aparato suplementario de batería local, conectado permanentemente en la posición de trabajo de las llaves. En caso de convenir puede equiparse con un timbre de aviso de llamada accionado

por las trampillas de los indicadores de línea.

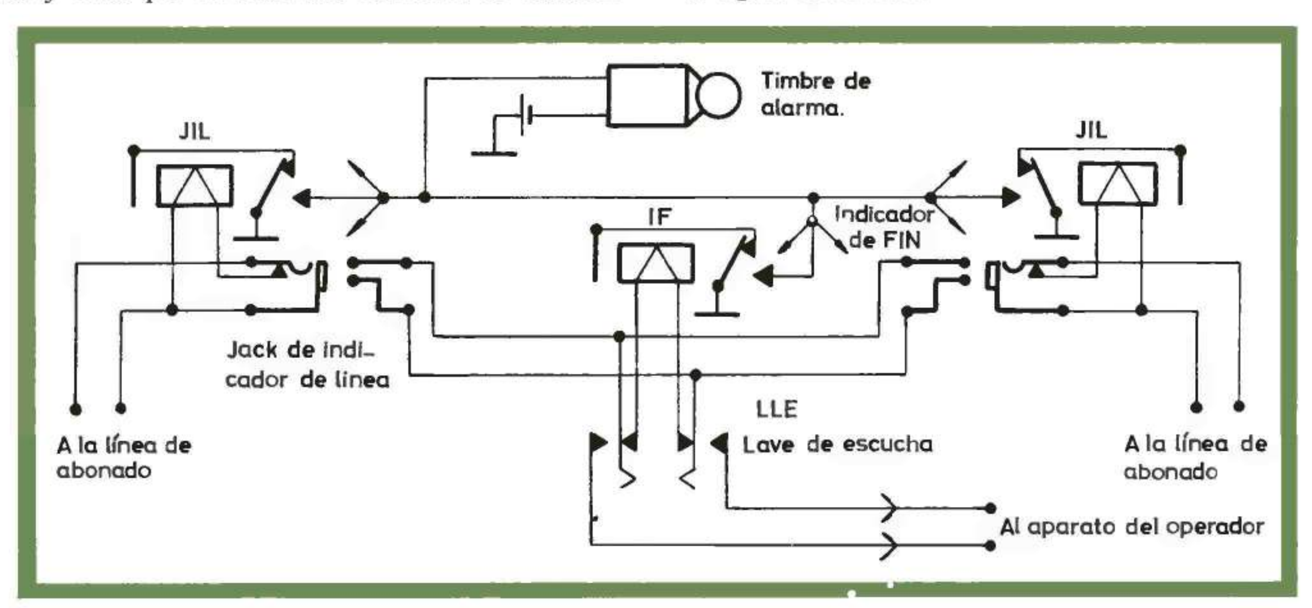
El funcionamiento de estos cuadros conmutadores es el siguiente:

Cuando un abonado llama, haciendo girar la magneto de su aparato telefónico, envía por su línea una corriente de llamada que hace funcionar el indicador de llamada, desprendiendo su trampilla, que cierra el circuito del timbre de alarma (si existe) avisando a la operadora. Esta contesta introduciendo en el *jack* de la línea que llama la clavija de un cordón libre y acciona la llave de escucha correspondiente, quedando en comunicación con el abonado que ha llamado.

Cuando la operadora recibe la orden de conexión de un abonado con otro introduce la otra clavija del cordón en el *jack* del abonado llamado y envía por la línea una corriente de llamada dando vueltas a la la manivela de su aparato. Cuando contesta el abonado llamado queda establecida la comunicación y la operadora repone la llave en posición normal.

Al terminar la conversación, el abonado que inició la llamada hace girar un instante la manivela de su aparato y envía a la línea un corto impulso de corriente alterna que hace funcionar el indicador de fin, cuya trampilla, al caer, cierra el circuito del timbre de alarma. La operadora repone la trampilla y acciona la llave de escucha, asegurándose de que la conversación ha terminado. Entonces extrae las clavijas del cordón de los *jacks* y deja libre los circuitos de los dos abonados.

El esquema del circuito está representado en la figura inmediata.



CIRCUITOS TELEFONICOS DE BATERIA CENTRAL

En los circuitos de batería central los receptores de todos los abonados están alimentados por una batería única, que, como es lógico, está situada en la central.

ALIMENTACION DE LAS LINEAS DE ABONADO

La alimentación de las líneas de abonado debe satisfacer las condiciones siguientes:

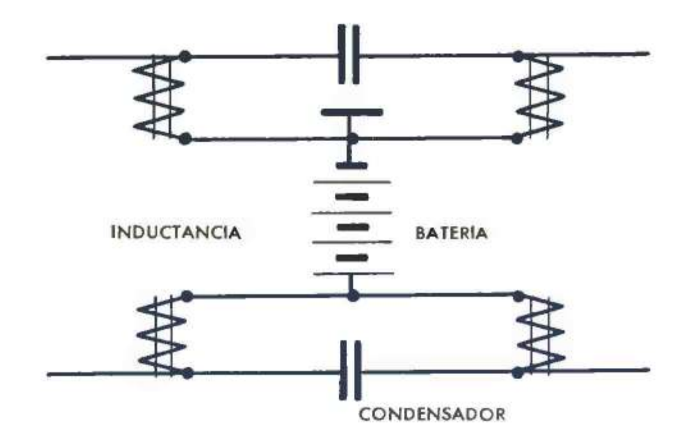
1. La introducción de una batería no debe desequilibrar el circuito.
2. La separación de las corrientes de conversación que circulan por dos circuitos distintos debe ser satisfactoria.
3. En el circuito debe encontrarse una impedancia tan pequeña como sea posible para las corrientes de conversación, y una impedancia infinitamente elevada, para la corriente continua, con el fin de separar las alimentaciones de los abonados y de instalar en cada línea un relé de supervisión.

Las condiciones 1 y 2 conducen a la instalación de una batería de baja resistencia interna, con un polo conectado a tierra a través de un conductor de resistencia muy débil. Normalmente se conecta a tierra el polo positivo.

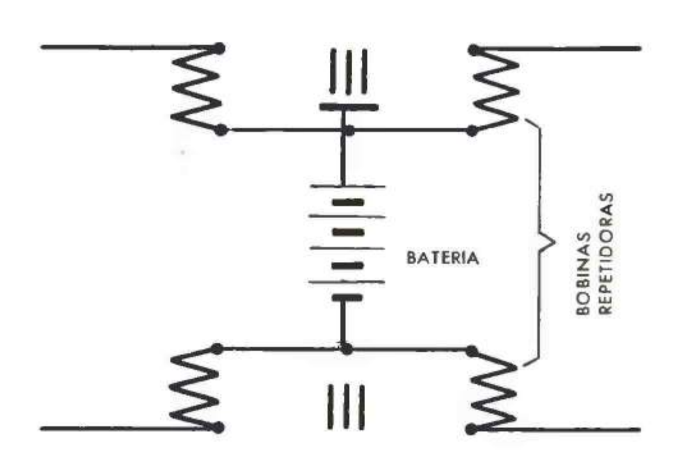
La condición 3 obliga a introducir un puente de alimentación, llamado bobinas de repetición o de impedancia, que puede realizarse de dos formas distintas, a saber:

a) Procedimiento de inductancia y capacidad. Bobinas de impedancia. En este sistema los circuitos de alimentación están separados por un condensador. Unas inductancias (bobinas o arrollamientos de relés) situadas en cada hilo permiten el paso de la corriente continua, bloqueando el de la corriente alterna. La figura representa el esquema de este montaje.

b) Procedimiento con bobinas de repetición. En este procedimiento se separan los circuitos de alimentación, haciéndolos pasar por los dos arrollamientos de un transformador de relación 1/1. Los cuatro arrollamientos necesarios (dos en cada sentido) generalmente están bobinados sobre un mismo núcleo de forma tórica. La figura representa el esquema del procedimiento por bobinas repetidoras.



Esquema del sistema inductancia-capacidad.



Esquema de un montaje con bobinas repetidoras

STANDARD DE BATERIA CENTRAL

En este caso el dispositivo de llamada no es un indicador, sino un relé de llamada que funciona cuando el abonado descuelga el microteléfono. El relé cierra entonces un contacto que enciende una lámpara en el cuadro de operadora. Esta lámpara se apaga, cuando contesta la operadora, por apertura de los contactos del *jack*.

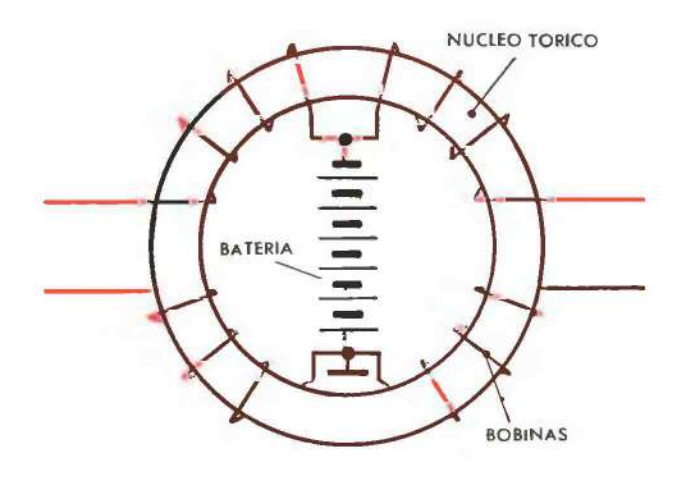
De igual forma, cuando el abonado cuelga el *combinado* (microteléfono) el relé de supervisión, que estaba trabajando durante la conversación, pasa a la posición de reposo y enciende la lámpara de supervisión, que avisa del fin de la conversación a la operadora.

MULTIPLE A BATERIA CENTRAL

Hemos visto ya el principio del múltiple, y hemos insistido en el hecho de que varias operadoras pueden atender una misma línea. Esto exige que cada operadora pueda saber si la línea está ocupada o libre. Esta operación recibe el nombre de *test*.

Descripción de una centralita telefónica manual, de batería central, Standard Eléctrica, tipo 5572-B, de 50-100-200 lineas

Estas centralitas constituyen cuadros conmutadores manuales de batería central y de tipo pupitre, que proporcionan comunicaciones telefónicas secretas o no secretas, según se desee, en-



Bobinas repetidoras, montadas sobre núcleo tórico.

tre los aparatos locales y entre éstos y una central teléfonica de batería central, manual o automática. Pueden también funcionar como centralitas privadas sin enlaces.

Cada línea local o de enlace dispone de un *jack* y una lámpara situados en el panel frontal. La conexión entre los aparatos locales, y entre éstos y las líneas de enlace, se establece por medio de cordones terminados en clavijas. Las dos clavijas de cada cordón tienen funciones distintas y se distinguen por el color de la cubierta. Cada bicordio lleva asociados los siguientes elementos: lámpara de fin de conversación correspondiente a la clavija anterior; lámpara de fin de la clavija posterior; llave de escucha, por cuyo trabajo se conecta el teléfono de operadora al correspondiente circuito de conexión; llave de llamada para la clavija posterior; y llave de conexión directa, cuya función es establecer unión directa entre el enlace tomado por la clavija anterior y la línea conectada a la clavija posterior.

La tensión de funcionamiento es de 14 a 24 voltios.

La resistencia en anillo de las líneas locales no excederá de 200 Ω; la resistencia de aislamiento debe ser como mínimo de 30.000 Ω.

El equipo de operadora, formado por un receptor de casco con micrófono, cordón y clavija, está incluido en la centralita.

Los elementos de la centralita están alojados en un mueble de madera, con armadura interior de hierro, a la que se unen todos los aparatos que forman los distintos circuitos. El mueble, de tipo pupitre, tiene en la parte anterior el tablero de llaves y clavijas y el panel de lámparas y *jacks*.

Los aparatos telefónicos utilizados con esta centralita son del tipo normal de batería central, automáticos o manuales, según el tipo de los enlaces equipados en la centralita.

Para efectuar una llamada local se levanta el microteléfono de un aparato conectado a la centralita, lo que origina el encendido de la correspondiente lámpara en el cuadro. La operadora contesta, conectando en el *jack* de la línea la clavija posterior de un cordon libre y actuando su llave de escucha. Recibida la orden de conexión con otra línea local, conecta la clavija anterior



Centralita de 100 líneas.

del mismo circuito del cordon y actúa la llave de llamada anterior. Al contestar la línea llamada quedan en comunicación los dos aparatos; y la operadora se elimina del circuito reponiendo la llave de escucha. Cuando se cuelgan los microteléfonos de los aparatos telefónicos se encienden las lámparas de fin de conversación y la operadora deja libres los *jacks* de ambas líneas.

Si la conexión se refiere a un enlace a la central urbana, la operadora conecta la clavija anterior a un enlace libre y actúa la llave de conexión directa para que el abonado marque directamente o pida comunicación, según se trate de una central (la urbana) automática o manual: o la propia operadora marca sobre la central urbana mediante el disco de la centralita o pide la comunicación a la operadora urbana y, obtenida la conexión, repone la llave de escucha.

Las llamadas entrantes de los enlaces se contestan siempre utilizando la clavija anterior.

Si la centralita está dispuesta para servicio secreto, el teléfono de la operadora queda fuera de servicio si durante la conferencia actúa la llave de escucha, asociada a un circuito de cordón en uso.

CONMUTACION AUTOMATICA

Hasta aquí hemos visto que la comunicación requería la presencia de una operadora, a la cual el abonado comunicaba el número deseado, que realizaba las maniobras necesarias para efectuar la comunicación entre los dos abonados.

Desde el principio del telefono la máxima preo

cupación de los técnicos ha sido la automatización de la conmutación, o sea suprimir las operadoras en las centrales de gran tráfico.

La primera instalación automática construida en Europa entró en servicio el año 1908 en Heldesheim (Alemania).

Para el establecimiento de la comunicación por el propio abonado los aparatos telefónicos están equipados con un cuadrante de llamada, que envía las señanes correspondientes al número del abonado con el que se desea establecer la comunicación. La figura muestra un disco de llamada.



Disco de llamada.

DISCO O CUADRANTE DE LLAMADA

Los circuitos automáticos son siempre de batería central; la línea del abonado está alimentada por corriente continua desde el momento en que se descuelga el aparato, Las señales que se envían a la línea al marcar un número consisten en interrupciones, de corta duración, de esta corriente continua de alimentación, que reciben el nombre de *impulsos de ruptura*. Estos impulsos, de igual duración (66 milésimas de segundo), van seguidos por un restablecimiento de la corriente llamado *impulso de cierre* (duración, 33 milésimas de segundo). El conjunto del impulso de ruptura y el impulso de cierre constituye el impulso completo, o simplemente impulso, que dura una décima de segundo.

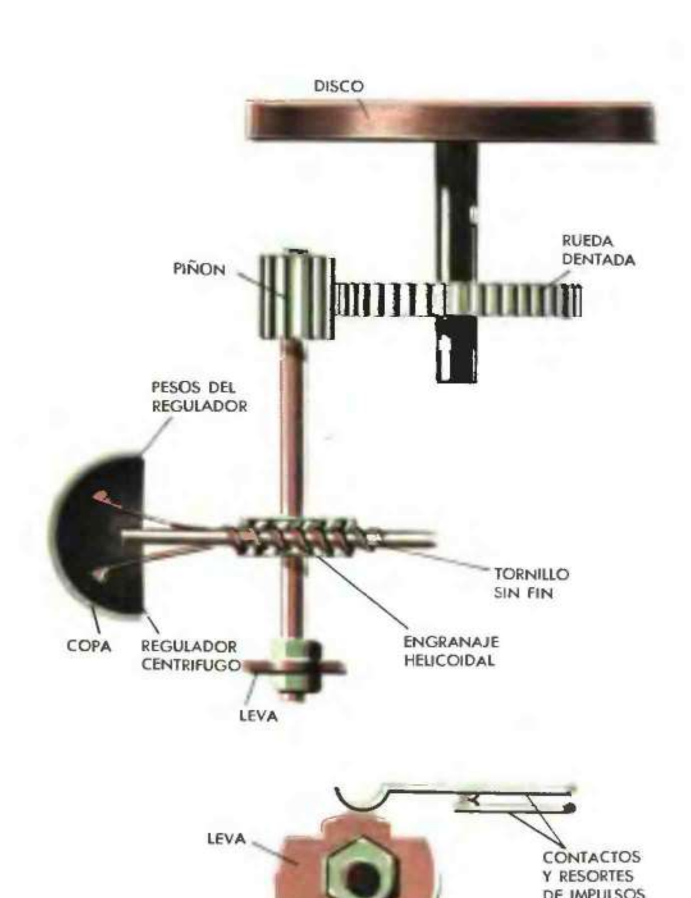
La serie de impulsos que constituye una cifra recibe el nombre de *tren de impulsos*. Cuando marcamos la cifra 7, enviamos un tren de siete impulsos.

Cuando el dedo deja libre el disco, éste retorna a la posición de reposo, a velocidad constante, por la acción de un regulador. Durante este retorno una leva abre periódicamente un contacto conectado en serie con la línea.

Para lograr que los órganos instalados en la central tengan tiempo de actuar realizando las operaciones necesarias, se prevé en la construcción del disco un *tiempo perdido* de dos o tres décimas de segundo entre cada *tren de impulsos*.

El disco de llamada está provisto, además, de un contacto llamado de *shunt* que cortocircuita el micrófono y el receptor del aparato del abonado durante el envío de un tren de impulsos.

La figura repreenta esquemáticamente el mecanismo del disco de llamada.



Los impulsos emitidos por el disco de llamada llegan a la central, donde colocan en posición los órganos de conexión. Esta operación recibe el nombre de *selección*. Para conseguir que la explotación económica sea posible es preciso que un mismo aparato de selección sirva para varios abonados.

PRESELECCION

La preselección es el medio que conecta varias líneas de abonado a un órgano único, que recibe el nombre de selector.

Si las líneas de abonado pueden conectarse al selector con un solo órgano intermedio, la preselección es simple. En el caso de dos órganos intermedios es doble.

Preselección simple:

1. Preselector. La línea de abonado se conecta a un juego de escobillas móviles de un conmutador que busca un selector disponible.
2. Buscador de líneas. Las escobillas se conectan a un selector y a la llamada de un abonado. El conmutador busca la línea del abonado que ha efectuado la llamada.

La figura representa en forma esquemática el conjunto de un preselector.

Conjunto de preselectores.

Preselección doble. En la preselección doble se combinan los dos sistemas dos a dos, obteniéndose entonces:

1. Los preselectores secundarios. Estos son dos pisos de preselectores en cascada.
2. Los buscadores secundarios de llamada. Son dos pisos de buscadores de llamada en cascada.
3. Los buscadores dobles. Esta es una disposición muy utilizada. El buscador de llamada primario está conectado a las escobillas de un preselector.

Hemos hablado de selectores suponiendo que un solo órgano podía comunicar con todas las líneas de abonado. Es evidente que esta selección debe hacerse en varios eslabones (o pasos intermedios). Supongamos que disponemos de selectores que permiten conectar con cien abonados. Los abonados reciben los números del 001 al 100. Un abonado en esta centena está caracterizado por las dos últimas cifras de su número. Esto significa que este aparato selector realiza dos movimientos diferentes: el primero bajo el control de la penúltima señal mandada por el disco de llamada, cifra de decenas; el segundo bajo el control de la última señal, cifra de unidades.

Este último movimiento consiste en pararse sobre una de las diez líneas de la decena designada anteriormente. Decimos que el aparato tiene acceso a diez *niveles* de diez líneas. Como este aparato es el último eslabón de la cadena que conecta al abonado que llama con el abonado llamado, decimos que es un selector final o conectador.

Para tener acceso a un selector final se emplea un aparato análogo, que recibe el nombre de selector de grupo. Este aparato solamente escogerá el nivel, que depende de la cifra de las centenas, y busca en este nivel una línea que dé acceso a un selector final libre. Decimos que el aparato ha efectuado una selección mandada seguida de una busca libre.

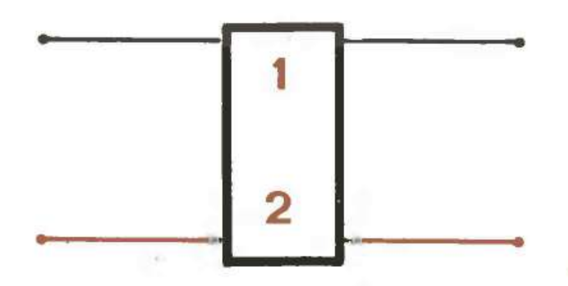
Utilizando dos, tres o cuatro eslabones de selección sucesivos se pueden servir mil, diez mil, cien mil o más aparatos de abonado.

Hay distintos sistemas de selectores, pero todos están formados por elementos comunes: relés, conmutadores y circuitos eléctricos.

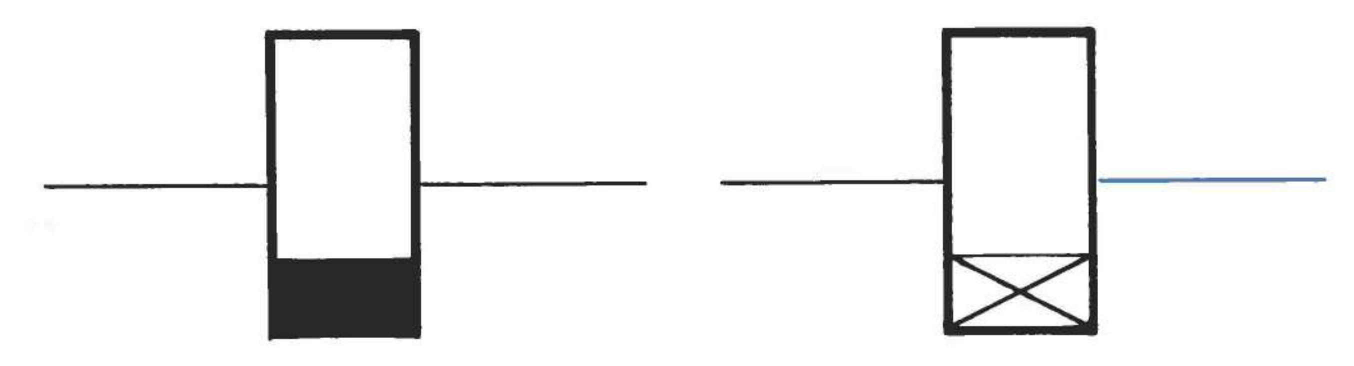
RELES

Los relés son órganos cuyo principio ya ha sido descrito en el estudio de las centrales manuales. En la conmutación automática es frecuente el uso de relés diferenciales y retardados.

Los relés diferenciales son relés de dos arrollamientos, 1 y 2 (Véase figura.) Cuando el circuito del arrollamiento 1 se encuentra cerrado, el relé trabaja como si fuera un relé ordinario Si en este momento se cierra el circuito del arrolla-



Representación del relé diferencial.



Retardo a la caída o apertura.

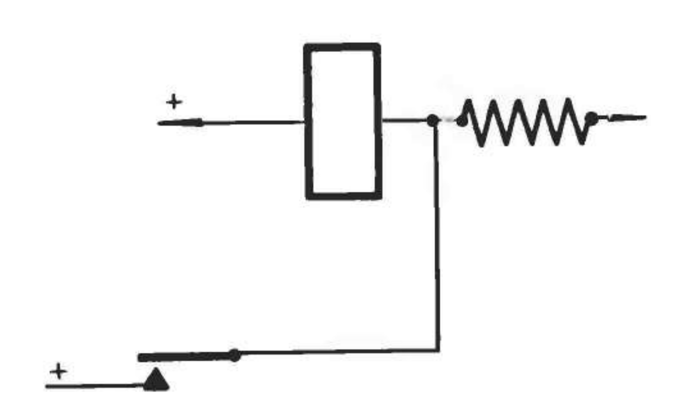
Retardo a la atracción o cierre.

Símbolos de los relés retardados.

miento 2, el relé pasa a su posición de reposo por la existencia de un flujo antagonista creado por el arrollamiento 2.

El relé retardado puede ser retardado a la atracción o a la caída. La figura representa el símbolo de este relé.

El retardo se consigue con escobillas de cobre. Además puede retardarse un relé cortocircuitando, mediante un contacto, una parte del arrollamiento.



Relé retardado por cortocircuito.

CIRCUITOS ELECTRICOS

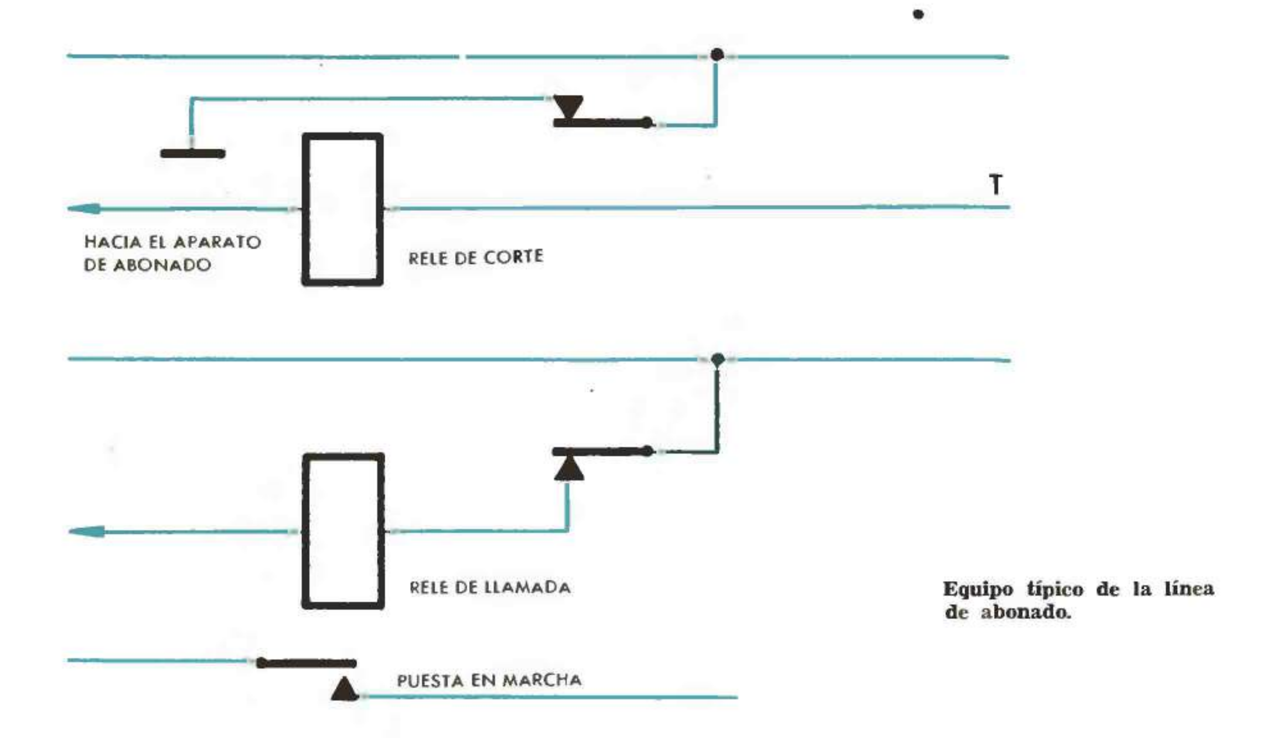
Pueden proyectarse de modo que utilicen más o menos relés. Se disminuye el número de relés en un circuito multiplicado las funciones que desempeña cada uno de los relés que lo integran, y también aumentando el número de contactos que establecen.

CONMUTADORES

Los órganos más importantes de todo el sistema automático son los conmutadores que, en varios puntos de la cadena a establecer, efectúan la unión o conmutación deseada entre los dos abonados que desean comunicarse. Esta unión exige de tres a cinco hilos, según el sistema utilizado. Dos hilos de conversación en conmutación urbana, cuatro hilos de conversación en conmutación interurbana, hilos de señalización, control, conteo, etc.

EQUIPO DE LA LINEA DE ABONADO

Por lo general, para los equipos de abonado en el sistema de conmutación automática se utiliza el esquema representado a continuación. Cuando el abonado descuelga su aparato, el circuito formado por la línea y el aparato de abonado se cierra, de forma que el relé de llamada actúa cerrando un contacto de puesta en marcha de la preselección. Una vez terminada la preselección, una corriente en el hilo T atrae la armadura del relé de corte, que aísla el relé de llamada, permitiendo la recepción de los impulsos. El relé de corte, mediante un sistema de contactos, indica si el aparato receptor del abonado está en situación de libre o ocupado.

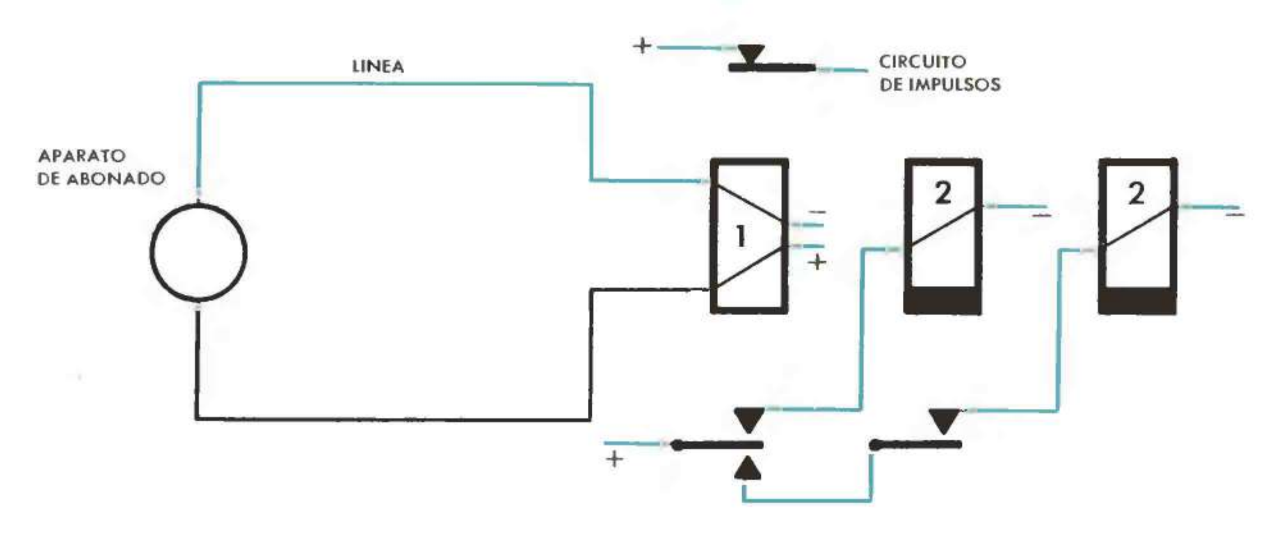


Equipo típico de la línea de abonado.

RECEPCION DE LOS IMPULSOS

Para la recepción de los impulsos son indispensables, como mínimo, tres relés. Estos relés se encuentran en todos los sistemas de recepción utilizados. La figura representa el esquema de la recepción de impulsos.

El relé 1 está conectado en el bucle de la línea de abonado, actuando con la cadencia de los impulsos, y cierra el circuito de impulsos destinado a marcar la cifra recibida. El relé 2 es el de ccupación y actúa al actuar el relé 1, pero su retraso a la apertura permite que no abra a cada impulso. El relé 3 es el de conmutación. Actúa al primer impulso de apertura; su retardo es suficiente para que se mantenga cerrado durante los impulsos de cierre, pero insuficiente para mantenerlo atraído durante el tiempo que separa los trenes de impulsos. Su trabajo se utiliza para preparar la recepción de la cifra siguiente; su reposo permite la conmutación definitiva al órgano encargado de esta recepción.



Recepción de impulsos.

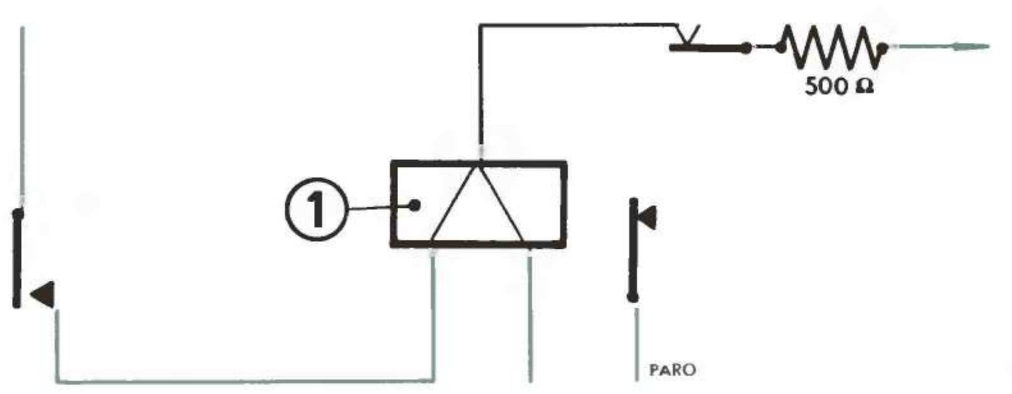
TEST

En cada eslabón de selección el selector, si está formado por un conmutador móvil, explora las distintas líneas de un mismo nivel y se detiene sobre la primera línea que encuentra libre. Para saber dónde ha de pararse debe, pues, probar (realizando el *test*) las líneas de salida, de igual forma que como lo hace una operadora con los *jacks* que están ante ella. El principio del *test* automático es exactamente igual que en telefonía manual: una modificación del potencial del hilo del punto examinado. Aquí nos limitaremos a describir los principios del *test* que se utilizan actualmente:

Una línea libre se caracteriza por una polaridad de la batería a través de una resistencia de 500 Ω situada en el circuito del contacto de *test*. La escobilla que explora este contacto se conecta a tierra por un arrollamiento muy resistente de un relé 1. Este relé está proyectado de forma que dos relés parecidos no pueden conectarse si están alimentados en paralelo.

Cuando un selector pasa sobre una línea libre, el relé 1 actúa y corta el circuito de rotación del selector. A la vez, mediante un contacto de trabajo, conecta en paralelo con su arrollamiento resistente un arrollamiento de poca resistencia, quedando el potencial del contacto a un potencial cercano al de tierra; de esta forma señala la ocupación de la línea que ha sido tomada. La figura reproduce esquemáticamente el principio del *test* automático en los sistemas modernos.

Si dos selectores pasan simultáneamente sobre la misma línea libre, la característica del relé 1 impide el paso simultáneo de los dos selectores. Los dos pasan sin pararse sobre el contacto de la línea.



Principio del test, en los sistemas modernos de telefonía automática.

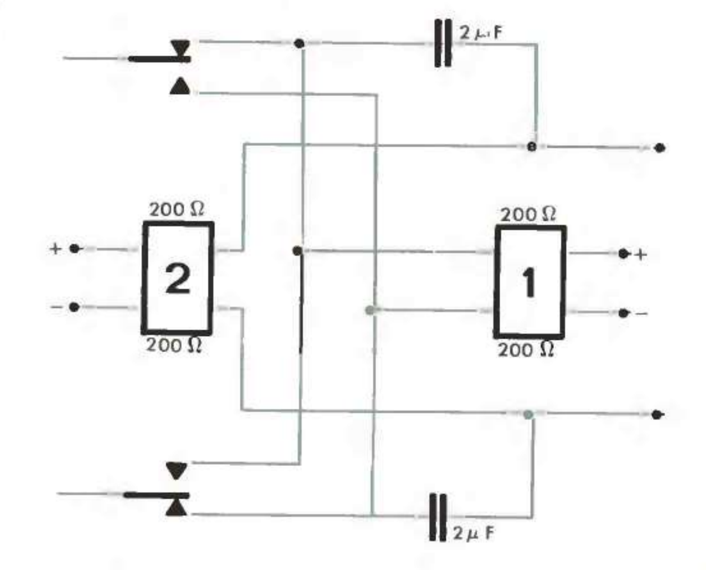
ALIMENTACION DE LAS LINEAS DE ABONADO

En telefonía automática la alimentación de las líneas de abonado se hace siempre empleando inductancias y capacidades. Las inductancias generalmente están formadas por bobinas de relés. La particularidad de la alimentación radica en que la corriente que alimenta la línea del solicitante es inversa a la respuesta del solicitado, lo cual permite la inserción de monedas o fichas en los aparatos de teléfono público de pago adelantado.

La figura muestra el esquema más empleado de alimentación de los abonados.

El relé 1 se utiliza para la recepción de las cifras. El relé 2 es el de alimentación y de supervisión del abonado solicitado. Este relé provoca, además, la inversión de la alimentación del abonado solicitante

Alimentación de los abonados. ⇨



COMBINADORES

Los combinadores son órganos giratorios que pueden ocupar sucesivamente cierto número de posiciones, en las cuales establecen entre los diversos elementos del circuito las uniones eléctricas necesarias en el momento considerado. O sea, que a cada posición del combinador corresponde el cierre de cierto número de circuitos eléctricos.

Los combinadores, por tanto, reducen de modo considerable el número de órganos que intervienen en la conmutación telefónica.

TONOS

Una vez terminada la preselección el abonado solicitante recibe una tonalidad, llamada *tono de maniobra* o *tono de disco de llamada*, indicadora de que ya puede componer el número del abonado deseado. Cuando han finalizado las operaciones de selección el abonado solicitado recibe la llamada (timbre) si su línea está en situación de libre. El solicitante percibe lo que se llama *retorno de llamada*.

Si el abonado solicitado está en situación de ocupado, el solicitante percibe el *tono* o *tonalidad de ocupado*.

SISTEMAS DE CONMUTACION AUTOMATICA

En la conmutación automática se utilizan diversos sistemas, los más generalizados de los cuales son los que vamos a describir y representar en forma gráfica.

SISTEMAS PASO A PASO

De este tipo estudiaremos el sistema Strowger, de mando directo, en el que los selectores se desplazan siguiendo un movimiento vertical y otro horizontal.

PRESELECTOR

El preselector Strowger es un aparato de un solo movimiento sin posición de reposo. Un juego de escobillas móviles, cuyo movimiento está producido por un electroimán, explora un conjunto de contactos semicirculares. La figura representa un aparato de este tipo.

El electroimán funciona atrayendo y soltando alternativamente la armadura. Este movimiento alternado se transmite por medio de un trinquete y se transforma en rotativo cuando éste engatilla en una rueda con dientes de sierra. La rueda avanza un paso o diente cada vez que la armadura del electroimán cae o pasa a la posición de reposo.

Esta rueda mueve las escobillas que exploran los contactos. La velocidad de rotación del preselector es de unos 50 pasos por segundo.



Preselector tipo paso a paso.

SELECTOR

El selector paso a paso está formado por dos bloques de contactos superpuestos.

Los hilos de conversación se conectan al bloque inferior y los hilos de *test* al superior.

El selector está animado de dos movimientos, uno de rotación u horizontal y otro de elevación o vertical. Los movimientos del selector se efectúan por medio de tres electroimanes. El electroimán 1 proporciona el movimiento de elevación, el 2 el de rotación y el 3 es el electroimán de liberación.

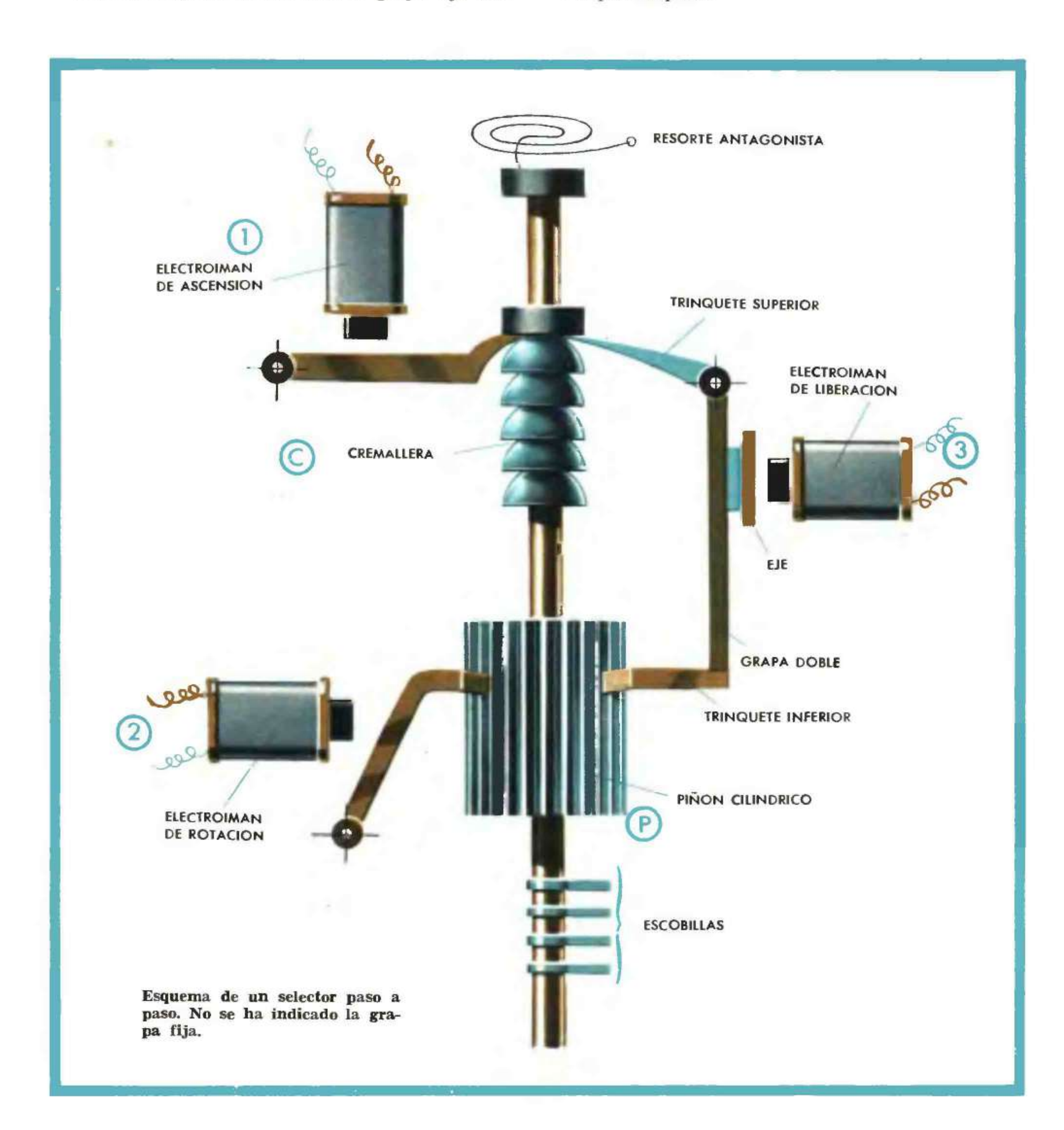
El árbol portaescobillas tiene una cremallera

de dientes cónicos C y un piñón de dientes cilíndricos P. Dos grapas trinquetes intervienen en el funcionamiento. La grapa fija guía el árbol porteaescobillas en su movimiento vertical mediante un canal efectuado en los dientes de ascensión. La segunda grapa, que es doble, sostiene entonces el árbol por medio de su trinquete superior.

Cuando empieza la rotación la grapa fija sostiene el árbol. El trinquete inferior de la doble grapa retiene el movimiento de rotación.

El electroimán de liberación atrae la grapa doble; entonces un resorte espiral antagonista obliga al árbol a girar en sentido inverso, hasta que la grapa fija se aloje en el canal vertical.

La figura muestra esquemáticamente un selector paso a paso.



Esquema de un selector paso a paso. No se ha indicado la grapa fija.

CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE LOS SELECTORES PASO A PASO

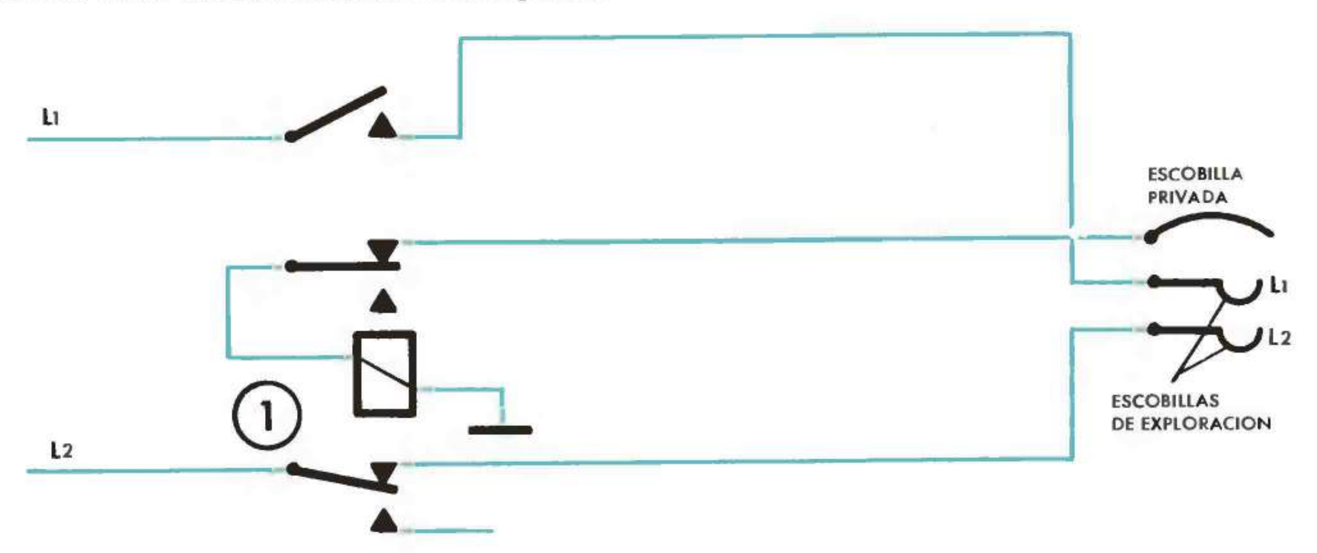
SELECCIÓN NUMÉRICA. En la selección numérica se trata de escoger un nivel, operación que realizan todos los selectores de la misma cadena. Esta operación está mandada directamente por los impulsos emitidos por el disco de llamada del abonado. Estos impulsos se reciben en el selector por tres relés, tal como se ha indicado anteriormente. En el circuito de recepción se encuentra el electroimán de ascensión, en el cual cada atracción de la armadura provoca la subida de un paso del árbol portaescobillas. Al final del tren de impulsos, la vuelta a la posición de reposo del relé cierra el circuito del electroimán de rotación y las escobillas buscan en el bloque de contactos. La selección automática o búsqueda ha comenzado.

La selección automática consiste en pasar el selector sobre una línea libre del nivel explorado por la operación del *test*, según el principio explicado en anteriores páginas.

En el sistema *Strowger*, si la línea está libre el hilo *privado* queda aislado. Los relés 1 y 2 están alimentados en serie. Solamente el relé 1 atrae su armadura, y la rotación no tiene lugar.

Si la línea está ocupada, el hilo *privado* queda conectado a tierra. El relé 2 atrae su armadura y cierra el circuito de rotación; el árbol portaescobillas gira un paso y el relé vuelve a su posición de reposo; el selector prueba entonces la línea siguiente. Si todas las líneas de un mismo nivel están ocupadas, las escobillas pasan a la posición 11 y mandan la señal de ocupado. La llamada, por tanto, se ha perdido, y el abonado debe marcar de nuevo.

La figura representa el esquema de la selección automática.



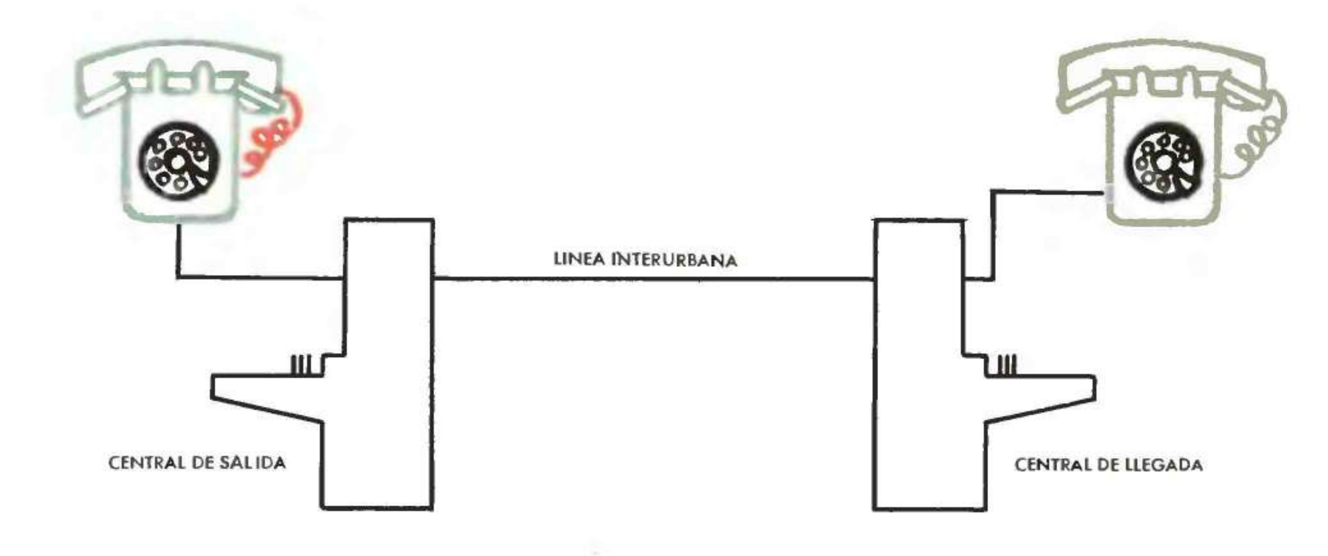
DESARROLLO DE LA CONMUTACION AUTOMATICA

Durante largo tiempo la conmutación automática solamente se aplicaba en el establecimiento de comunicaciones urbanas, o sea entre dos abonados de una misma ciudad. Actualmente estos procedimientos se han extendido a los circuitos rurales y a las comunicaciones a gran distancia.

COMUNICACIONES A GRAN DISTANCIA

Hasta hace poco tiempo todas las comunicaciones interurbanas exigían la presencia de por lo menos dos operadoras, una en la central de salida y otra en la de llegada; o sea que la conmutación era completamente manual. La figura representa esquemáticamente un circuito de este tipo.

A pesar de la atención y diligencia de las telefonistas, siempre resultan falsas maniobras y pérdidas de tiempo que perjudican a la calidad del servicio y al rendimiento de las líneas de gran distancia, cuyo establecimiento es muy costoso. Una línea explotada manualmente no puede establecer más de nueve unidades de conversación de tres minutos de duración, o sea veintisiete minutos de facturación efectiva.



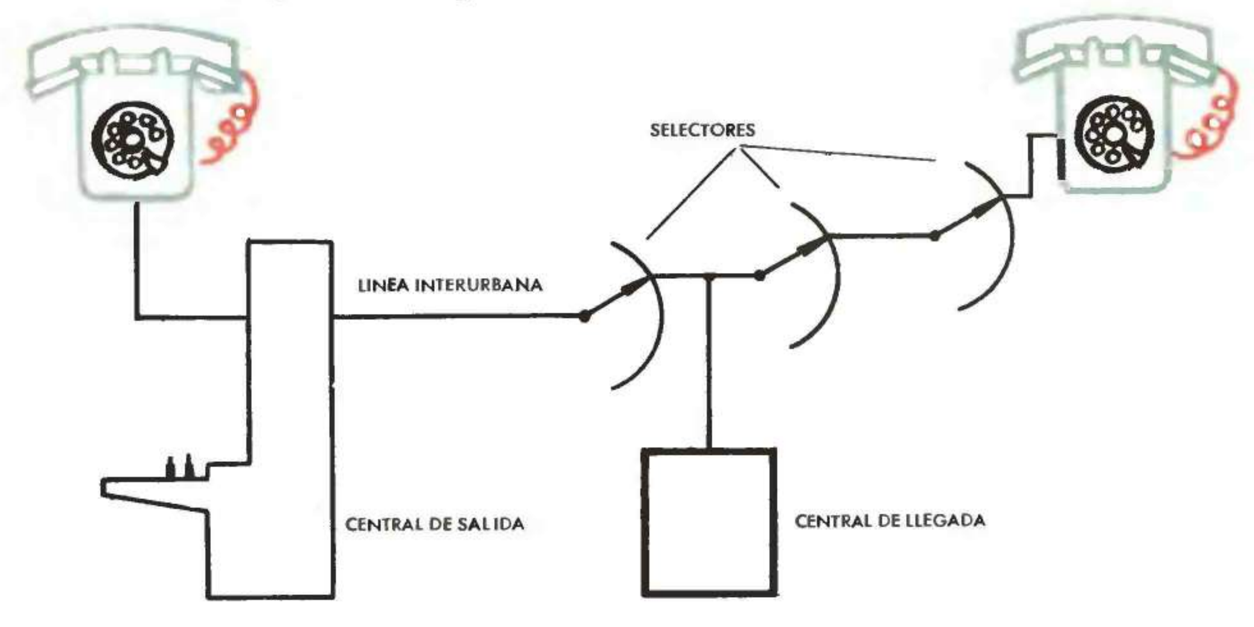
Explotación completamente manual.

EXPLOTACION INTERURBANA SEMIAUTOMATICA

De los primeros estudios realizados por los técnicos, surgió la creación de instalaciones que establecen la comunicación con la intervención de solamente la operadora de salida, mediante los procedimientos de selección automática. Esta explotación recibe el nombre de semiautomática y se representa esquemáticamente en la figura siguiente.

En este sistema el establecimiento de una comunicación sólo requiere cuarenta segundos, mientras que con la explotación manual se precisan ciento cuarenta segundos, o sea que se ahorran cien segundos. Por tanto no solamente se economizan todas las operadoras de llegada, sino que además se puede ahorrar el 60 % de las operadoras de salida.

Esta economía de personal no es el principal motivo de utilizar el sistema semiautomático. En efecto, este sistema, para una misma línea interurbana, permite treinta y seis minutos (doce comunicaciones) de facturación en vez de los veintisiete (nueve comunicaciones) minutos del sistema manual, o sea que el rendimiento de la línea aumenta en un 33 %.



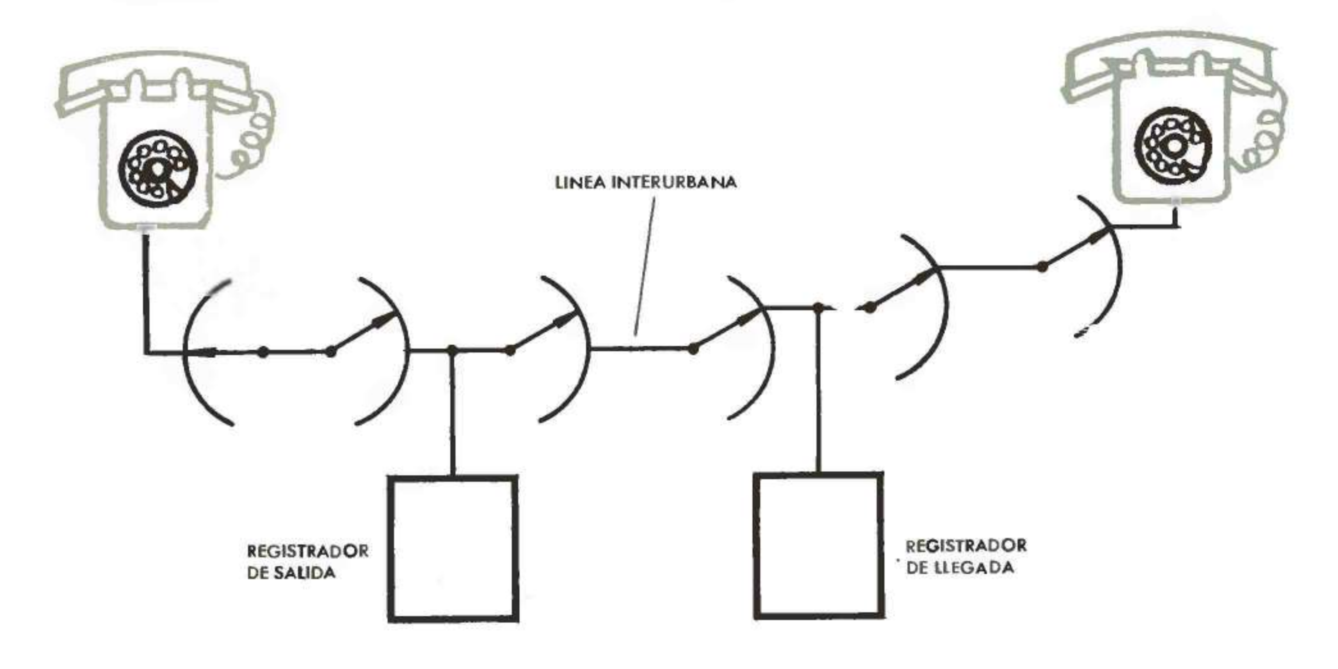
Explotación semiautomatica.

EXPLOTACION INTERURBANA AUTOMATICA

Es posible ir aun más lejos en la extensión de los sistemas automáticos y conseguir establecer directamente una comunicación de gran distancia sin la intervención de ninguna operadora. Actualmente vemos este sistema de explotación aplicado a las comunicaciones entre Madrid y Barcelona y entre otras muchas ciudades españolas. Con las nuevas técnicas aplicadas a la conmutación automática los abonados de Barcelona establecen una conexión con otro abonado de Madrid en treinta segundos a partir de la finalización de la maniobra del disco.

La figura representa esquemáticamente la explotación automática de una línea de gran distancia.

Para el conteo y tarificación de las llamadas se dispone de un registrador de salida y un registrador de llegada.



Esquema de explotación interurbana aotomática.

INSTALACIONES TELEFONICAS PRIVADAS

El teléfono, multiplicando la presencia humana, ha tomado una posición preponderante en la vida de los países, de forma tal que el Estado controla los servicios telefónicos y en algunos países los explota él mismo. Este monopolio tiene sus limitaciones; se permiten las instalaciones privadas, en el interior de una misma propiedad, con la condición de que el sistema de comunicación empleado no franquee la vía pública o la propiedad de un tercero.

Los sistemas de telefonía privados pueden ser de los tipos siguientes:

1. Sin enlace con las líneas telefónicas públicas; o sea que desde el sistema no puede establecerse ninguna conversación con aparatos ajenos al mismo.
2. Con enlace con las líneas telefónicas públicas; o sea que desde el sistema privado puede establecerse comunicación con cualquier abonado de la compañía que explota los servicios públicos, a través de sus centrales.

En las instalaciones privadas con enlace con las líneas públicas, las centrales pueden ser manuales, semiautomáticas o automáticas. La compañía explotadora de los servicios telefónicos cobra un canon, calculado según el número de enlace y el número de conversaciones estimadas. Estas centralitas son exactamente iguales que las descritas en los capítulos anteriores. Nos limitaremos, a describir las instalaciones y aparatos utilizados en los sistemas privados sin enlace.

INSTALACIONES TELEFONICAS PRIVADAS SIN ENLACES
TELEFONOS AUTOGENERADORES

Existen varios tipos de teléfonos autogeneradores, entre los cuales hemos escogido el de fabricación francesa llamado *Genefono*.

Estos aparatos se basan en la propia energía acústica de la emisión, la cual es suficiente para transmitir la voz a distancia.

En el año 1782 el monje dominico Gautbey utilizó un aparato acústico formado por dos bocinas unidas por un conductor metálico. Actualmente aún se emplea, debido a su gran simplicidad, en los barcos, para distancias muy cortas.

A principios del siglo XIX apareció un aparato formado por dos bocinas con membranas de pergamino, unidas entre sí con un cordel o bramante tenso. Las vibraciones de la membrana o diafragma emisor se transmitían a través del cordel al diafragma receptor.

En el año 1875 Graham Bell, en Estados Unidos, consiguió la primera unión telefónica eléctrica entre dos interlocutores.

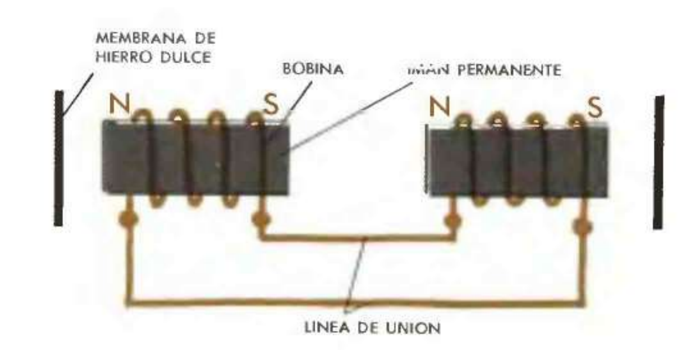
El principio del magnetoteléfono de Graham Bell es el mismo que se utiliza en los aparatos autogeneradores *Genefono*. Consiste en una bobina que rodea un imán permanente y un diafragma de hierro que se desplaza en el entrehierro del imán por influjo de las vibraciones acústicas. El esquema de la figura ilustra el principio del teléfono de Graham Bell.

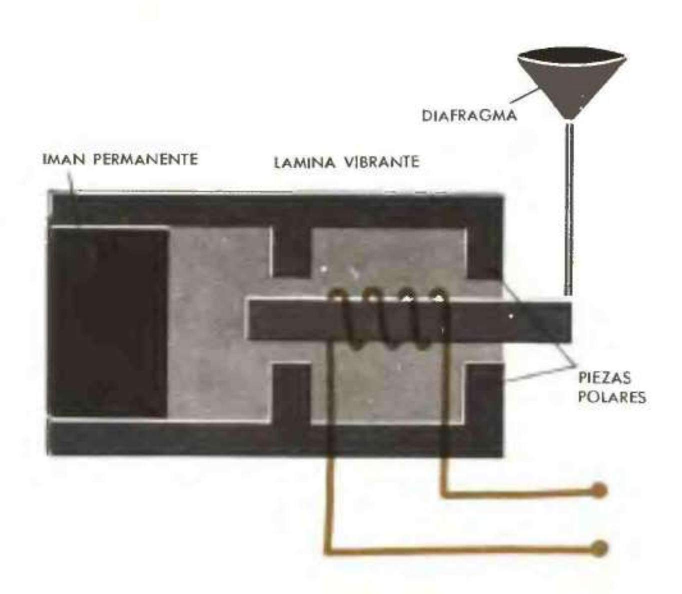
De las figuras precedentes y de cuanto se ha dicho se desprende que una de las características de los teléfonos autogeneradores es que el mismo órgano cumpla las funciones de emisor y de receptor.

La figura representa esquemáticamente el circuito magnético de una cápsula *Genefono*. Vemos que el imán permanente está prolongado por medio de dos piezas polares de forma especial, que forman cuatro entrehierros.

En reposo la lámina vibrante no está atravesada por ningun flujo; pero si desplazásemos esta lámina en el entrehierro, mediante las vibraciones acústicas (emisor), se induce una corriente eléctrica que al recorrer las bobinas del receptor hace vibrar las láminas de éste y reproduce las vibraciones acústicas en el diafragma (receptor).

El *Genefono* es, pues, un teléfono autogenerador, con dispositivo de llamada incorporado. No necesita pilas, acumuladores o alimentación eléctrica de ninguna clase.





Como hemos dicho, los micrófonos de los teléfonos normales son del tipo de carbón, generalmente granalla de carbón. Deben ser alimentados por una fuente de corriente continua de unos 3 voltios de tensión y su consumo oscila entre 30 y 75 mA.

Los teléfonos autogeneradores, cuyo principio hemos visto más arriba, utilizan micrófonos electromagnéticos con cuatro polos. No requieren fuente de alimentación alguna, pues la energía acústica suministrada por la voz del interlocutor cuando habla ante el micrófono se transforma en energía eléctrica. En el otro extremo de la línea, gracias a un dispositivo análogo, esta energía eléctrica se transforma nuevamente en acústica. Esta serie de transformaciones tiene lugar con un alto rendimiento, gracias a lo cual el nivel de conversación es igual que en un teléfono de pilas o de baterías.

Un microteléfono *Genefono* consta de:

2 cápsulas electromagnéticas, una utilizada como emisor y otra como receptor.

1 circuito de llamada de frecuencia sónica.

Los tres elementos están montados en un brazo estanco o blindado con entrada de cable por prensaestopas.

La figura representa dos tipos de *Genefono.*

Las excelentes características de los *Genefonos* conducen a establecer enlaces bilaterales entre aparatos situados a varias decenas de kilómetros, distancia que depende de la calidad del cable utilizado. Como orientación se dan los siguientes datos obtenidos experimentalmente:

100 Km con línea aérea de 3 mm².

20 Km con cable apantallado.

15 Km con cable paralelo plástico de 2 × × 0'5 mm².

2 Km con cable ordinario de campaña.

Las principales formas de utilización de los *Genefonos* son las siguientes:

1. Uniones bilaterales.

   Dos aparatos telefónicos, unidos por una línea de dos conductores, son suficientes para establecer una unión pilateral.

2. Unión entre varios postes en paralelo.

   Varios *Genefonos* pueden conectarse en paralelo, mediante una línea de dos conductores. En este caso, las llamadas emitidas por cada aparato, son recibidas por todos los demás aparatos, y es necesario utilizar un código de llamada convencional: una señal para el teléfono n.º 1, dos para el n.º 2, etc.

3. Unión entre un poste piloto y varios postes secundarios.

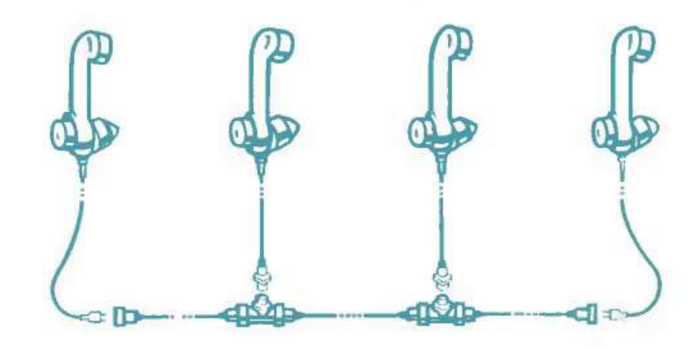
   En numerosas aplicaciones se necesita un poste piloto que pueda llamar y ser llamado por uno cualquiera de los postes secundarios de una red.

   Esta red puede realizarse fácilmente mediante aparatos *Genefono,* con un máximo de doce aparatos, que parten de otro mural provisto de un selector manual.



Combinado estanco de materia plástica Rilsan irrompible.

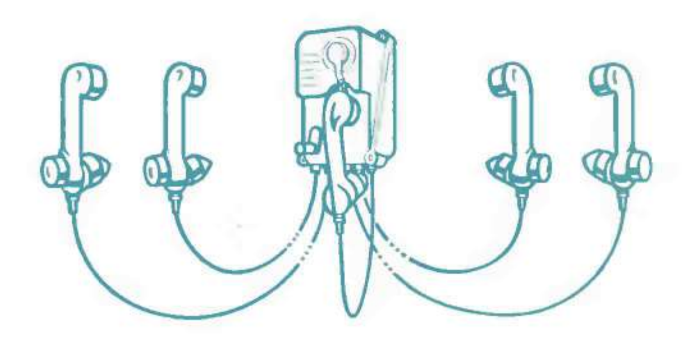
Combinado de tipo minas, para el empleo en ambientes cargados de vapores o de gases explosivos.



Unión entre varios postes en paralelo.



Unión bilateral.



Unión entre un poste piloto y varios secundarios.

4. Unión entre un poste central y varios postes secundarios.

Se fabrican también centralitas telefónicas *Genefono*, que pueden servir a 6-12-24 ó 100 teléfonos secundarios. Estas centrales pueden ser equipadas con un adaptador, que permite la unión con la red clásica exterior o privada.

INTERFONOS (STANDARD ELECTRICA, S. A.)

Reciben el nombre de interfonos los aparatos telefónicos para comunicación interior. Estos aparatos son muy útiles en pequeñas instalaciones, oficinas, hoteles, porterías, residencias, comercios, etc., tanto como lo es el teléfono en la comunicación con el exterior.

El manejo de los interfonos es muy sencillo, pues solamente es necesario pulsar un botón para efectuar la llamada al número con el cual se desea hablar, y sin intervención de ninguna central u operadora se establece el circuito de conversación al descolgar los microteléfonos.

La alimentación del sistema se hace por medio de una batería de pilas secas de 20 a 30 amperios/hora y de 3 a 4'5 voltios, con lo cual los gastos de mantenimiento son muy reducidos.

Los aparatos telefónicos utilizados permiten realizar las combinaciones siguientes:

1. Comunicación entre dos dependencias, utilizando dos interfonos de un botón.
2. Comunicación de una dependencia principal con otras diez secundarias, utilizando un interfono de seis botones y seis interfonos de un botón.
3. Comunicación de una dependencia principal con otras seis secundarias, utilizando un interfono de diez botones y diez interfonos de un botón.
4. Comunicación de seis dependencias entre sí, utilizando seis interfonos de seis botones.
5. Comunicación de diez dependencias entre sí, utilizando diez interfonos de diez botones.

Las figuras reproducen los distintos tipos de interfonos fabricados por Standard Eléctrica, S. A.



Interfono mural de una línea.

Interfono de sobremesa de una línea.



Interfono mural de diez líneas.

Interfono de sobremesa de diez líneas.

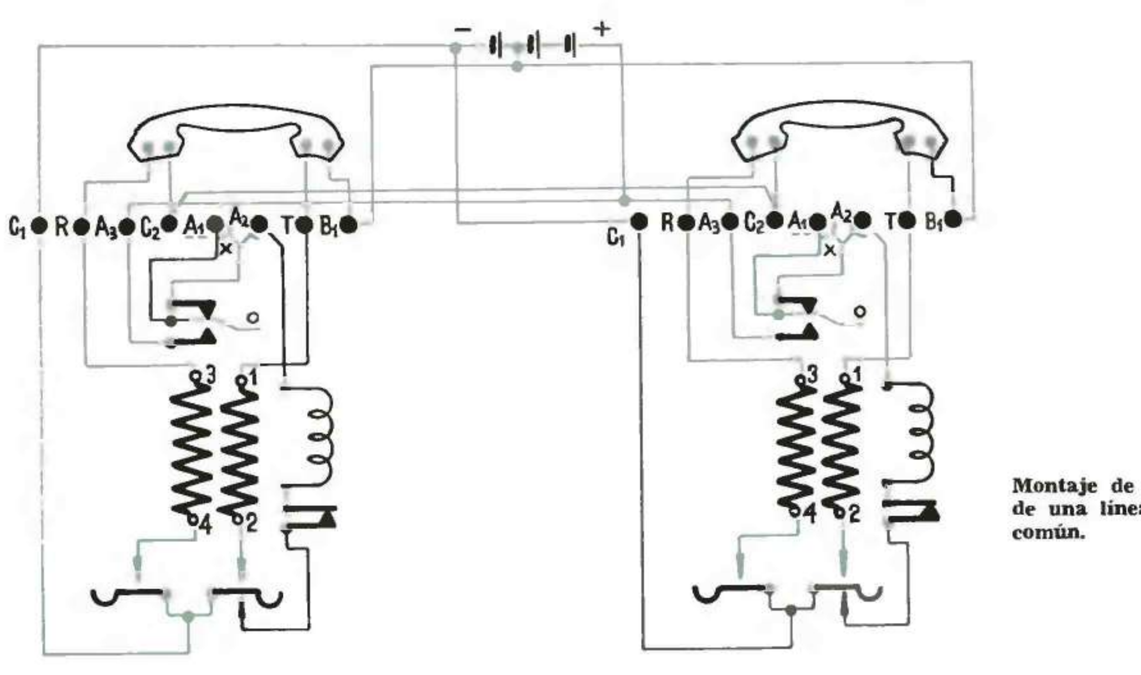
MONTAJE DE LOS INTERFONOS

Dos interfonos de una línea empleando una sola batería de llamada y de micrófono

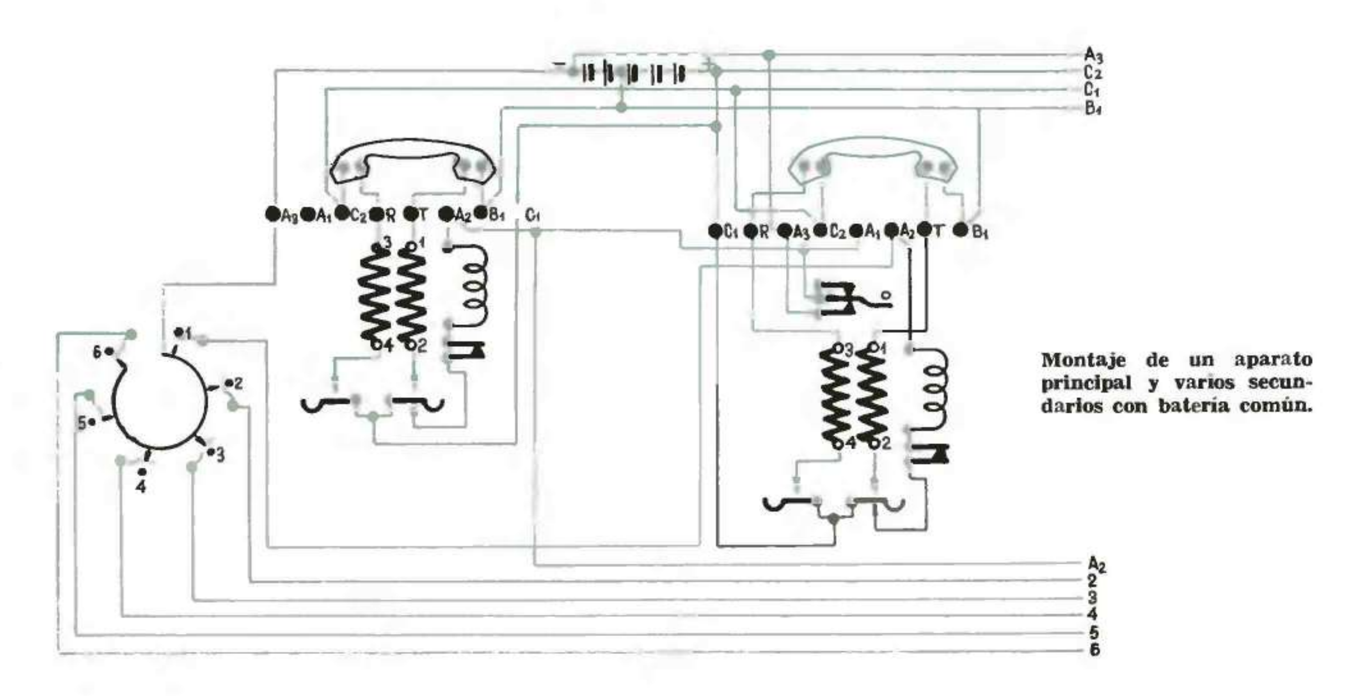
En este montaje se utilizan dos interfonos de un solo botón. Para la instalación debe emplearse cable bajo plomo, de dos pares de conductores, ya que la línea está formada por dos hilos de alimentación y dos de conversación.

La batería está compuesta de tres pilas secas cilíndricas y puede conectarse al lado de uno de los dos aparatos o en cualquier punto de la línea.

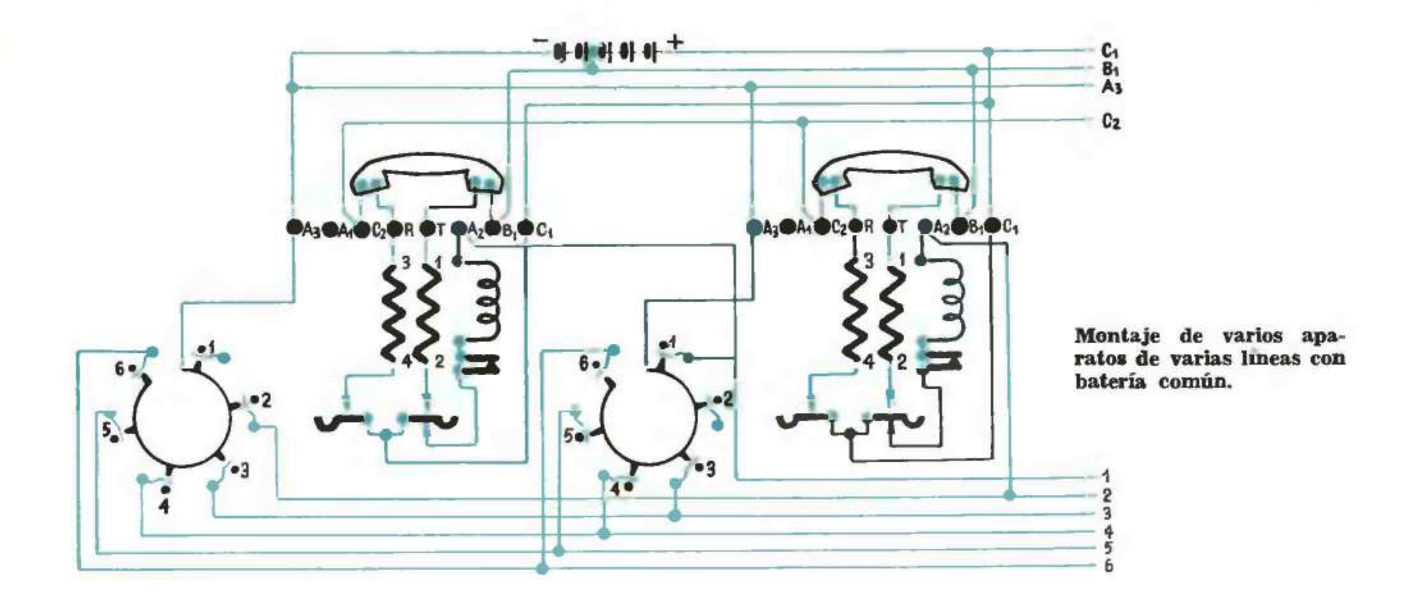
En el siguiente esquema de circuito para la interconexión de dos aparatos de una línea puede verse el puente C_2-A_1 y la conexión en X-A_2.



Montaje de dos aparatos de una línea con batería común.



Montaje de un aparato principal y varios secundarios con batería común.



Montaje de varios aparatos de varias líneas con batería común.

Un aparato principal de varias líneas y tantos secundarios de una línea como botones de llamada tenga el principal, empleando batería común de llamada y micrófonos.

Con este sistema pueden instalarse tantos interfonos como botones de llamada se equipen. Uno de ellos, llamado principal, lleva uno, seis o diez botones. El aparato principal puede llamar a cada uno de los secundarios, pero éstos sólo pueden comunicarse con el principal.

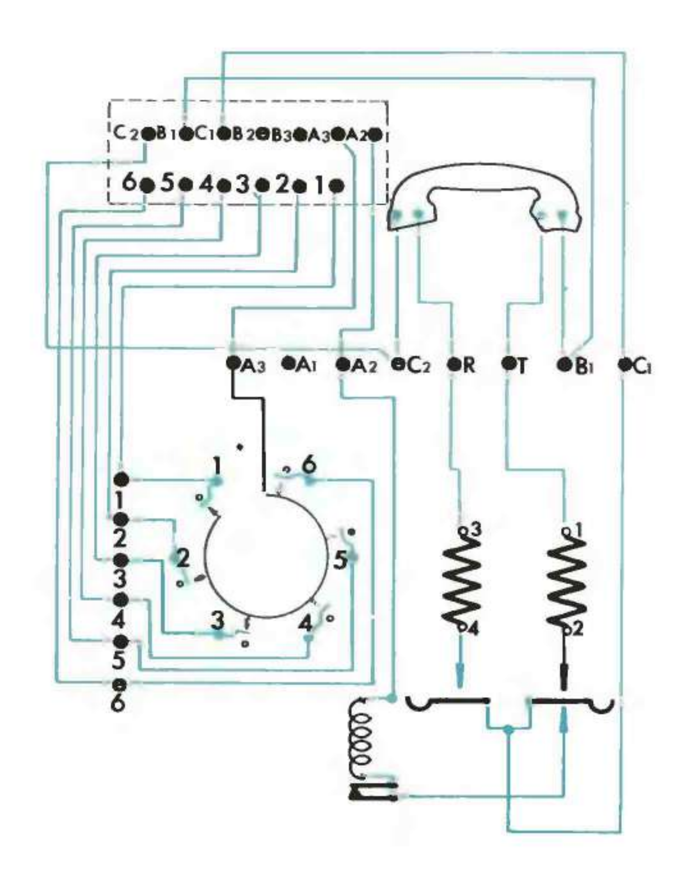
Para este montaje son necesarios cinco hilos comunes a todos los aparatos, en todo el recorrido, para batería y conversación más un hilo para la llamada de cada aparato que se instale. Debe tenerse en cuenta, al calcular los cables, que el número de conductores va de mayor a menor, contando desde el aparato principal hacia el último secundario; y por cada dos teléfonos en la línea el cable tendrá un par menos de conductores.

Varios interfonos de más de una línea empleando una sola batería común de llamada y micrófonos.

Este montaje permite que cada aparato establezca comunicación con los restantes, si bien no permite conversaciones simultáneas.

Los interfonos pueden ser de seis o de diez botones. Para este montaje son necesarios en todo el recorrido cuatro hilos comunes a todos los aparatos, para batería y conversación, más uno para la llamada de cada aparato que se instale. Por tanto, son necesarios cables de cinco pares para interfonos de seis botones y de siete pares para interfonos de diez botones.

A continuación reproducimos el esquema del interfono de sobremesa de seis líneas.



Esquema de interfono de sobremesa de seis líneas.

E - 21

APENDICE

1º

TALLER MECÁNICO

Limadora
Distintos tipos de limadora
Las herramientas
Datos característicos de una limadora



LECCION Nº 8

taller mecánico 8

LIMADORA

Esta máquina realiza, por lo general, el trabajo de formar superficies planas, que pueden ser horizontales, verticales o inclinadas. La combinación de varias superficies planas permite obtener piezas de formas muy distintas. Entre ellas las más frecuentes son las superficies de asiento. Sobre estas superficies otras piezas, también planas, pueden quedar fijadas a la perfección por la parte de contacto. Además, como trabajo propio de la limadora mencionaremos las guías o superficies para el deslizamiento de piezas móviles y, en general, todas las partes que así lo requieran por los anteriores motivos o simplemente para mejorar el aspecto y precisión de una o varias de sus caras.





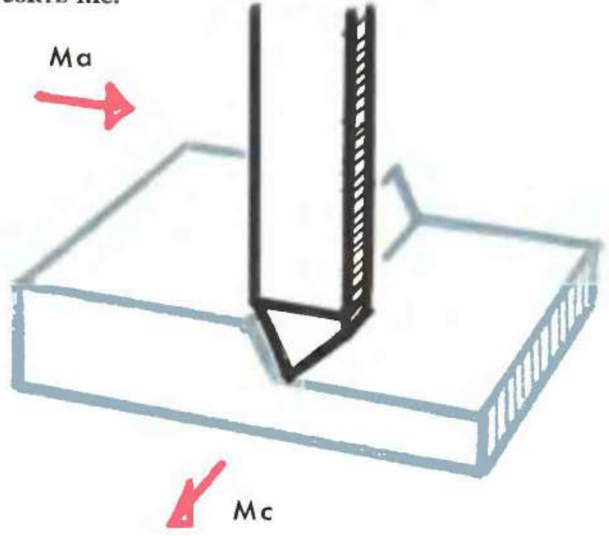
Operaciones características de la limadora.

Aunque no es muy frecuente, con esta máquina pueden realizarse otros trabajos, como mecanizar chaveteros en cubos de ruedas y comprobar con una plantilla otras superficies curvilíneas; aunque cabe decir que estas operaciones, como veremos más adelante, requieren que el operario posea cierta habilidad; lo mismo ocurre cuando quiere conseguirse con el torno el llamado *torneado de forma*, como se indica en la figura inmediata.



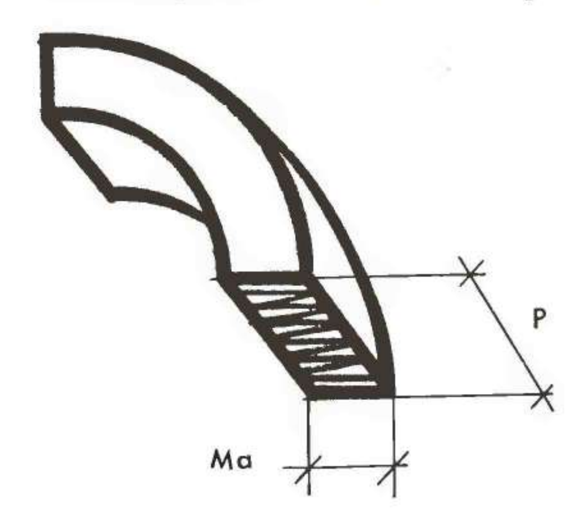
Torneado de forma con la limadora.

En la limadora la pieza a mecanizar se mueve sólo por pequeñas distancias y a intervalos de tiempo. En cambio, la herramienta —unida a la pieza móvil superior de la máquina— se desplaza con un movimiento rectilíneo alternativo. Al movimiento de la pieza se le llama MOVIMIENTO DE AVANCE Ma; al de la herramienta, MOVIMIENTO DE CORTE Mc.



Mc: movimiento de corte.
Ma: movimiento de avance.

Después de cada movimiento Mc, la herramienta retrocede y la pieza avanza una corta distancia en sentido lateral Ma, la que determina el espesor de pasada y por tanto el de la viruta, cuya forma y sección son las que representamos en la figura. La cota **P** representa la profundidad de la pasada, y se obtiene haciendo descender la herramienta hasta esta profundidad antes de cada pasada.



Espesor de pasada y profundidad de pasada en la viruta.

LAS HERRAMIENTAS

Las herramientas de corte que se emplean en la limadora están fabricadas en acero al carbono o acero rápido y emplean puntas de metales duros (widia).

Las herramientas antes citadas tienen gran parecido con las empleadas en el torno. Sin embargo, hay que decir que, por causa del trabajo discontinuo a que están sometidas (en cada pasada pierden contacto con la pieza), sufren un pequeño golpe cada vez que se inicia la pasada, razón por la que deben ser algo más resistentes. En estas herramientas hay que considerar los mismos ángulos que los necesarios para el torneado. Éstos obedecen a la idea general de que el ángulo del filo de la herramienta debe aproximarse a unos 80° a 85° para piezas de material duro y hacerse más afilado, de 60° a 70°, para piezas blandas.

Para obtener cierta elasticidad en la herramienta hay que darle, algunas veces, forma acodada. Para ello es necesario que el filo de la herramienta se halle situado en la prolongación del eje de su parte recta. De esta forma, a causa de su flexibilidad el filo mantiene la misma profundidad de pasada, aunque se produzcan pequeños desplazamientos laterales. No ocurre tal cosa cuando el filo está adelantado o retrasado con respecto a

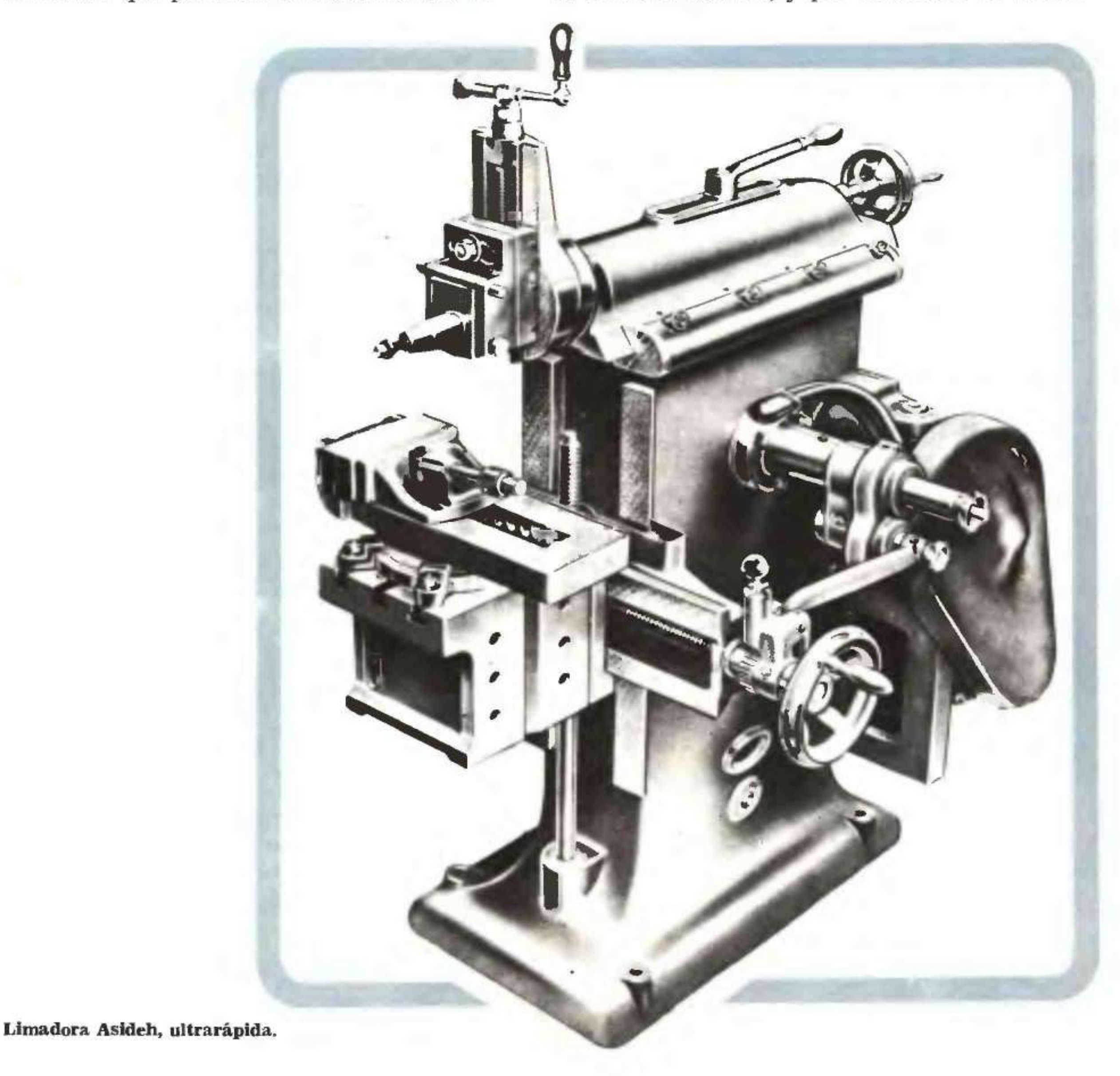


este punto. En el primer caso aumenta la profundidad de pasada al producirse la flexión, y en el segundo caso disminuye, como puede apreciarse en el esquema contiguo. Si I es la posición antes

de la flexión y II la que adquiere después, puede notarse la variación de altura *h*, la cual aumenta (con peligro de romper la herramienta) o disminuye (arrancando menos material). Esta precaución puede compararse a la necesidad de colocar a la misma altura el punto del torno y el filo de la herramienta.

DESCRIPCION DE LA MAQUINA

El conjunto de la máquina queda montado sobre un zócalo o soporte de fundición con las necesarias propiedades de solidez y estabilidad. En la parte superior lleva unas guías en forma de cola de milano que permiten el deslizamiento de una parte móvil llamada *carnero*, la cual tiene un movimiento alternativo de vaivén producido en la mayor parte de estas máquinas por un sistema de biela ranurada. Por su parte superior la biela está unida al *carnero*, y por la inferior al zócalo.



Limadora Asideh, ultrarápida.

El bulón alojado en la ranura de la biela describe una circunferencia, cuyo radio puede aumentar o disminuir, para modificar así la carrera del *carnero*. Si se trabajan piezas cortas el bulón debe describir una circunferencia de pequeño radio. Para piezas largas hay que aumentar tal radio; se consigue así mayor amplitud del movimiento de la biela, y por tanto mayor carrera de trabajo. La articulación inferior permite que la parte superior de la biela describa una trayectoria rectilínea. De no existir esta articulación la trayectoria sería una porción de circunferencia de radio igual a la longitud de la biela.

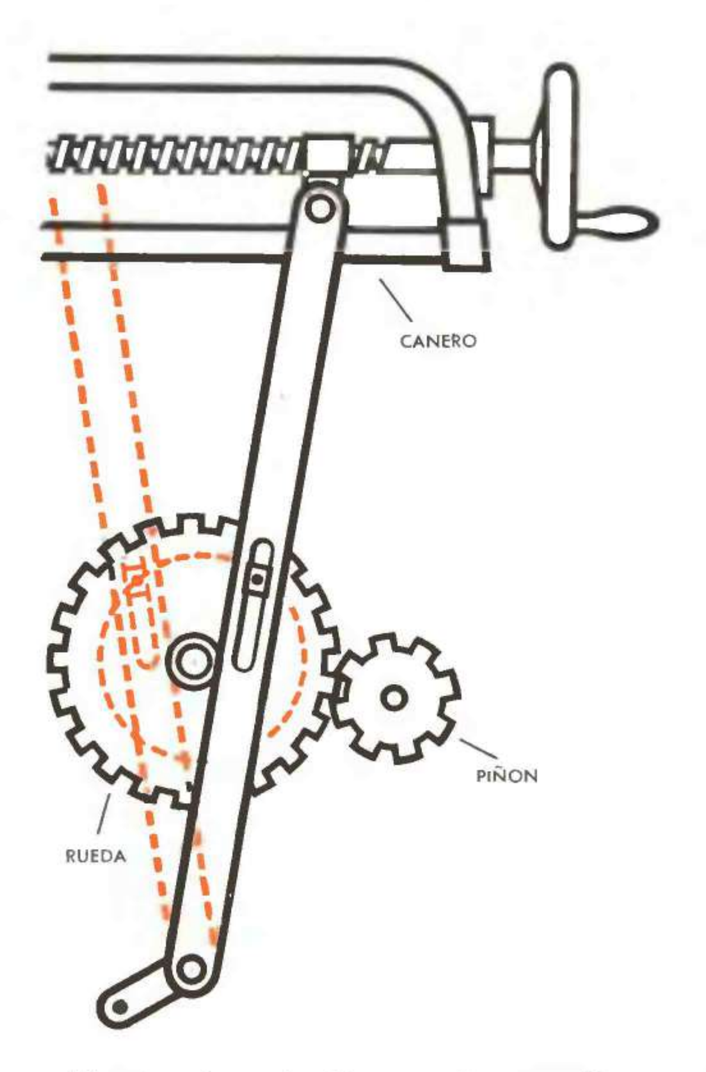
Aunque el movimiento giratorio que recibe la rueda sea uniforme, el del *carnero* no lo es: corresponde mayor velocidad a la carrera de retroceso y menor a la de trabajo. Esta diferencia de velocidades entre ambas carreras es fácil de comprender si observamos el esquema adjunto. Podemos ver que los puntos máximos **A** y **B** no están diametralmente opuestos; por tanto, la biela tarda más tiempo (en el sentido de giro indicado) en el desplazamiento B → A que en el A → B. El primero es la *carrera de trabajo* y el segundo la *carrera de retroceso*.

En su parte posterior el *carnero* lleva un volante-manivela que hace girar el tornillo. A éste se une la biela por medio de una nuez roscada. La distinta posición que puede ocupar esta cabeza superior de la biela a lo largo del tornillo hace que el *carnero* trabaje más cercano a la bancada o más alejado. Esta variación de la zona de trabajo puede lograrse siempre que esté aflojada la palanca superior. Una vez escogida la posición por giro del tornillo, se fija el *carnero* con la mencionada palanca.

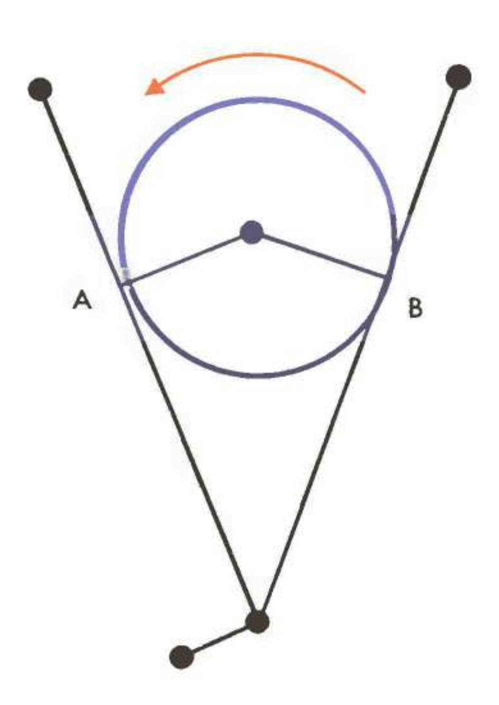
En los dos esquemas inmediatos se ve con claridad la diferente posición de trabajo del carnero. En ambas figuras la pieza es de pequeña longitud. Por tanto, la pieza alojada en la ranura de la biela debe describir una circunferencia de reducido radio. La palanca de fijación se encuentra en posición adelantada en la primera figura y retrasada en la segunda. Esto equivale a decir que el *carnero* está, respectivamente, retrasado y adelantado.

La longitud de la carrera se regula actuando sobre el eje del cuadrado del mecanismo, que sobresale por un lado del bastidor y que se bloquea por una tuerca manual.

Debajo de este mecanismo, y tomando de él



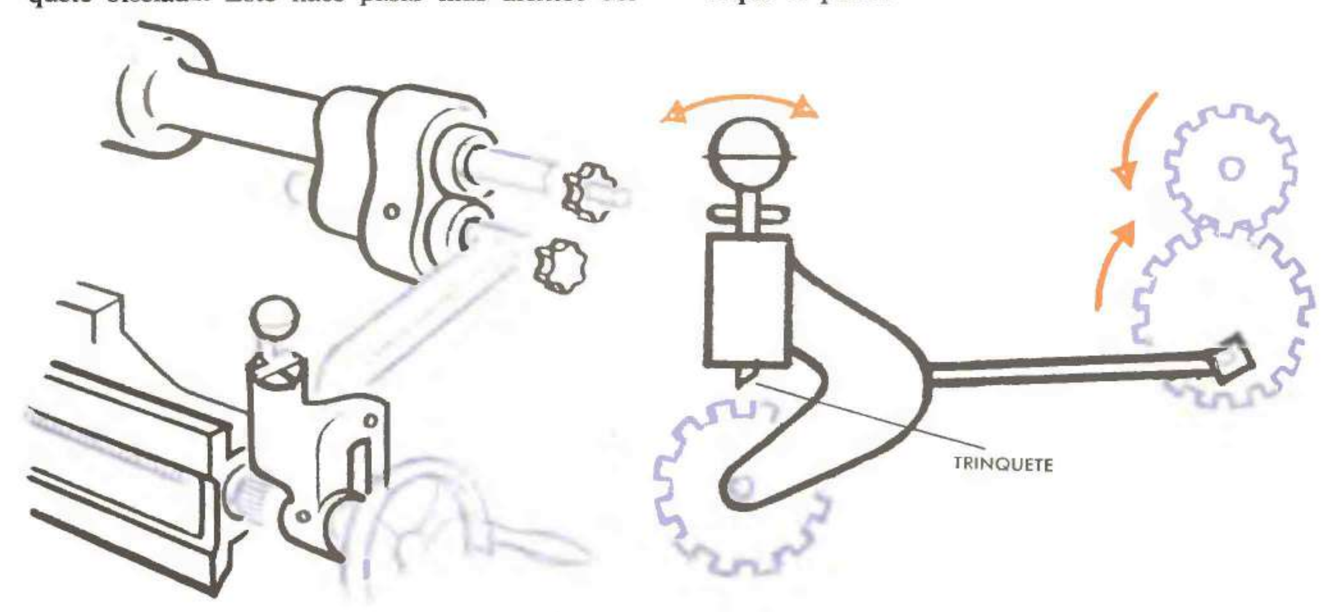
Mecanismo de arrastre del carnero. Representación esquemática.



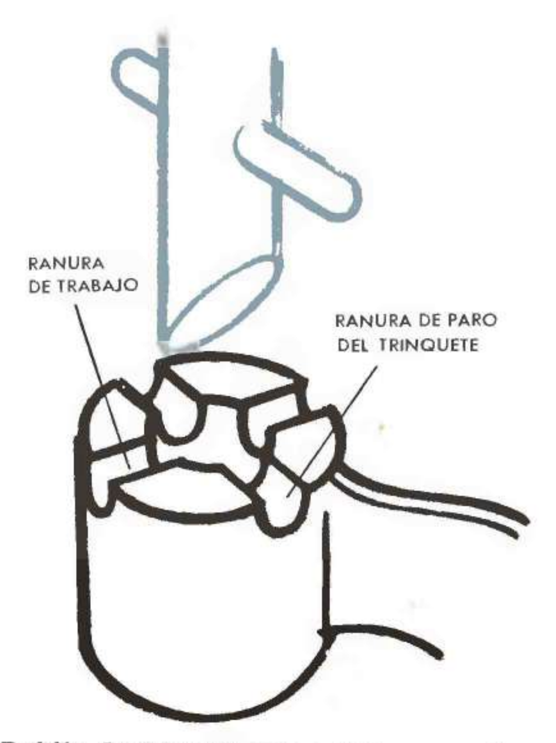
Dos posiciones de trabajo: carnero retrasado y carnero adelantado.

su movimiento, está el de avance automático, que produce el giro intermitente del tornillo horizontal.

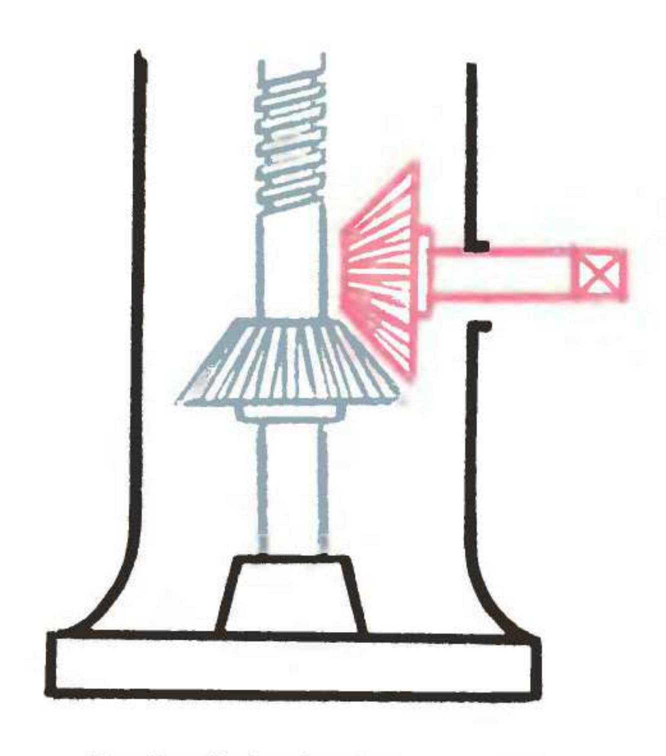
El fundamento de este mecanismo de alimentación puede verse en el esquema cercano. El piñón inferior lleva una ranura donde está alojada una pieza articulada con la cabeza de la biela. Modificando la excentricidad de esta pieza la biela provoca movimientos más amplios del trinquete biselado. Éste hace pasar más dientes del piñón, lo que se traduce en mayores avances. Para cambiar el sentido del avance basta con girar el bisel 180 grados: entonces se produce un movimiento de sentido contrario al anterior. Si se quiere actuar con el mando manual, el trinquete no debe tocar el piñón. Para ello se levanta y dándole un giro de 90 grados se coloca en una hendidura de menor profundidad que la que ocupaba al trabajar y que actuando de tope evita que toque el piñón.



Representación del mecanismo de avance automático.



Posición del trinquete para actuar con mando manual.



Mecanismo de elevacion y descenso de la mesa.

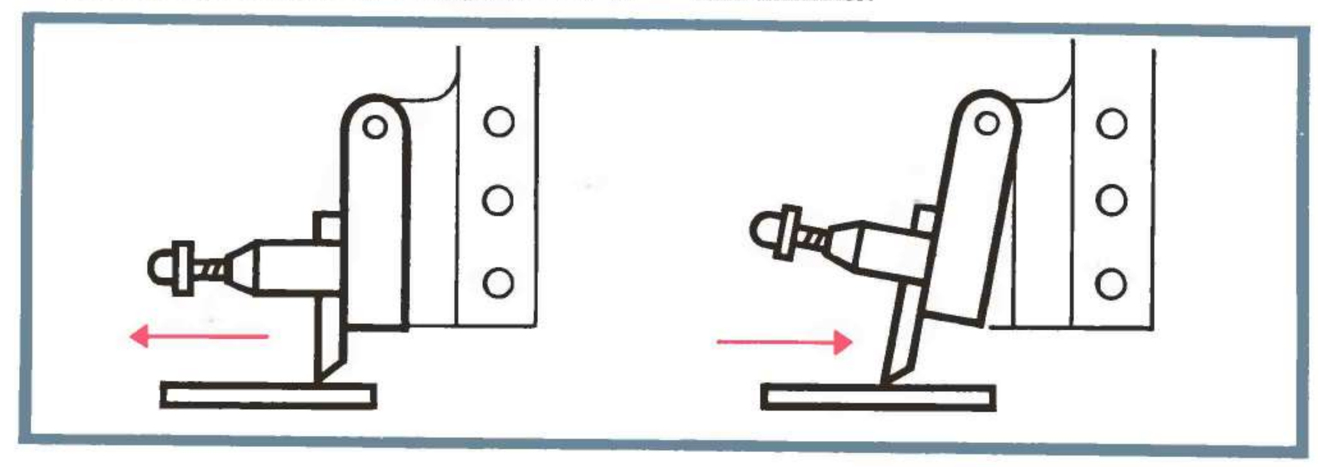
Cerca del husillo horizontal se encuentra una barra que por medio de un engranaje cónico hace girar el tornillo vertical. Éste se utiliza para la elevación y descenso de la mesa. Para que sea posible esta elevación o descenso es preciso que estén aflojados los tornillos, que actúan sobre las caras posteriores de las guías.

En su cara anterior el *carnero* lleva un disco graduado que permite y mide la inclinación del pequeño carro del portaherramientas. Cuando es preciso limar superficies horizontales o verticales el disco se deja en la lectura *cero*, que corresponde a la posición vertical del carro. Sólo se inclina cuando hay que limar superficies inclinadas; por ejemplo, colas de milano.

La fijación de las piezas se realiza por medio del sistema representado en el esquema. En él puede apreciarse que la placa base está articulada para impedir que la punta de la herramienta se estropee en la carrera de retroceso.

Debe evitarse de modo especial que la herramienta salga demasiado por su parte inferior, a causa del peligro de que pueda romperse al tomar contacto con la pieza.

La herramienta puede adoptar posiciones inclinadas, que son necesarias para limar superficies oblicuas. Para ello basta con aflojar su tornillo de fijación y hacer girar la pieza donde está alojada. Con objeto de aumentar las posibilidades de desplazamiento, la caja portaherramientas lleva un agujero rasgado curvo, que permite aumentar la inclinación de la herramienta si se afloja la tuerca de fijación, ideada exprofeso para este menester.

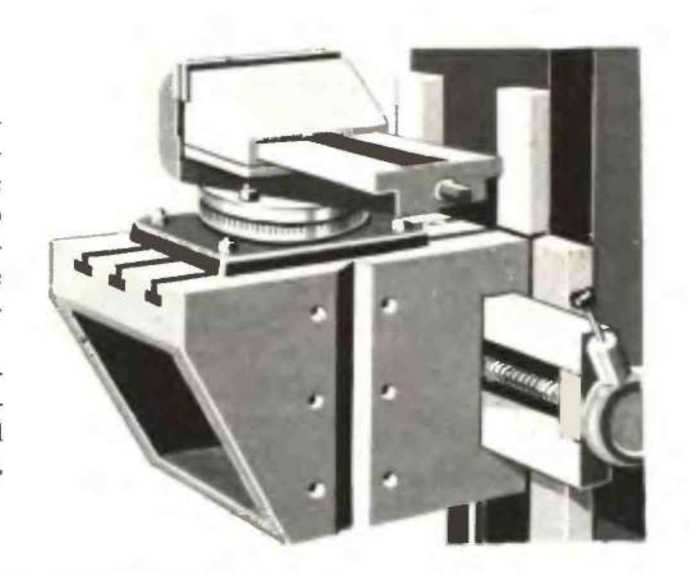


Fijación de las herramientas.

FIJACION DE LAS PIEZAS

Las piezas se fijan por diversos sistemas, según sean sus características. Para piezas pequeñas se utilizan mordazas de caras paralelas que se colocan sobre la mesa y se fijan a ésta utilizando las ranuras T y los correspondientes tornillos. Estas mordazas suelen ser de base giratoria. Este giro es regulable por medio de las oportunas divisiones en grados marcadas en la base.

Cuando las piezas sean de dimensiones mayores que las que admite la mordaza se sujetan directamente sobre la superficie superior o lateral de la mesa, empleando para ello los tornillos T, ya citados, y las adecuadas bridas.

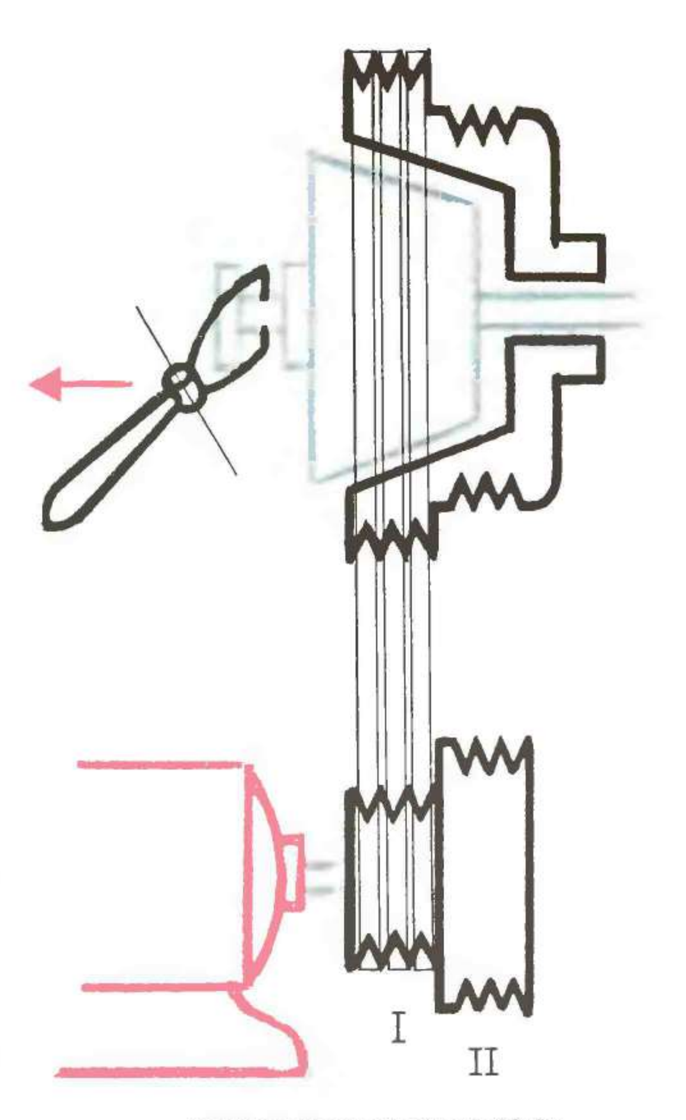


INFLUENCIA NOCIVA DE LAS VELOCIDADES EXCESIVAS

Ya vimos antes que el movimiento del *carnero* se producía al describir una circunferencia de mayor o menor radio una pieza alojada en la ranura de la biela. De esta forma puede regularse la carrera, aunque no la velocidad de corte Vc. Para conseguir esto último se cuenta con una caja de cambio de velocidad por ruedas dentadas, lo que permite que la rueda impulsora de la biela gire a distintas velocidades. Con ello se obtiene la gama de velocidades necesaria para trabajar los distintos materiales. Con referencia a estas velocidades cabe decir —y ello tiene mucho interés— que, aunque los materiales de pieza y herramienta permitan en teoría una gran velocidad de corte, la limadora no puede trabajar con ella por causa de su misma construcción y por tener una marcha discontinua. El cambio de sentido del movimiento puede provocar una sacudida en la transmisión que debe evitarse cuando la velocidad excede de 25 ó 35 metros por minuto. También influye en contra de las grandes velocidades el hecho de que cada comienzo de pasada el filo de la herramienta choca con la pieza. De este modo, con velocidades demasiado rápidas puede perjudicarse mucho la pieza, especialmente si se mecaniza con herramientas cuyo filo es de metal duro.

Para velocidades rápidas es mucho mejor que los recorridos o carreras del *carnero* sean cortos. Por tanto, para carreras largas hay que reducir la velocidad.

Es muy frecuente, en las limadoras, disponer de un embrague cónico en la polea receptora de la transmisión del motor. De este modo el motor puede arrancar en vacío y embragarse una vez haya alcanzado cierta velocidad.



Esquema del cambio de velocidades.

Las correas de la transmisión son trapezoidales y pueden ocupar las posiciones I o II.

Cuando se conecta el motor a la línea, el tambor de las poleas receptoras gira loco alrededor del eje. Este eje únicamente se pone en movimiento cuando, al actuar sobre la palanca en el sentido indicado, la horquilla obliga al cono a introducirse. Se produce así el embrague gracias al conocido principio de la cuña. Si se quiere detener el movimiento del *carnero* no es preciso desconectar el motor, sino tan sólo desembragar.

Las palancas del cambio de velocidades llevan unas indicaciones para saber qué velocidad corresponde a cada una; se especifica en golpes o carreras del *carnero*. Conocida ésta y la longitud recorrida en cada carrera, se deduce con facilidad la velocidad en metros/minuto.

Como norma orientadora de lo dicho antes incluimos una tabla en que pueden observarse las velocidades convenientes para longitud de carrera.

Longitud carrera mm	Carreras por minuto	Velocidad de corte Vc
400	35	24
340	45	25
285	55	27
230	65	28
175	90	29
130	135	33

PRINCIPALES DATOS CARACTERISTICOS DE UNA LIMADORA

RECORRIDO O CARRERA MÁXIMA. Es la máxima longitud que puede recorrer la herramienta. Esto supone, por tanto, que es también ésta la máxima longitud de pieza que la máquina puede trabajar.

ALTURA MÁXIMA ENTRE LA MESA Y EL CARNERO. Una vez conocido este dato se sabe cuál es la altura máxima que pueden tener las piezas que deban fijarse en la superficie superior de la mesa.

RECORRIDO MÁXIMO HORIZONTAL DE LA MESA. Por medio de este dato se conoce el ancho de las piezas, para trabajarlas en toda su dimensión sin necesidad de modificar la fijación.

RECORRIDO DEL PORTAHERRAMIENTAS. Es un dato muy útil para conocer la máxima altura, o desnivel vertical, que puede trabajarse tanto si la superficie es vertical como si es inclinada.

DIMENSIONES DE LA MESA. Es necesario conocer las dimensiones de la mesa para determinar con antelación el sistema de fijación de las piezas, ya que la pieza ocupa toda o parte de la superficie horizontal de la mesa.

VELOCIDADES DEL CARNERO. Se refieren tanto al valor de estas velocidades como a su número. Cuando mayor sea su número, más fácil es acomodar la velocidad a las dimensiones de la pieza, a la naturaleza de su material y al de la herramienta con objeto de conseguir el máximo rendimiento productivo con el mínimo desgaste.

CAPACIDAD DE AVANCE HORIZONTAL DE LA MESA. Este avance depende del grado de excentricidad que se ponga. Por lo general puede llegar hasta 1'5 mm. Por tanto, el espesor de la viruta puede oscilar entre 0 y este valor máximo.

POTENCIA DEL MOTOR. La potencia del motor en CV permite calcular con antelación la línea eléctrica y los fusibles.

DIMENSIONES Y PESO. Las dimensiones y el peso permiten calcular la cimentación, colocación próxima a muros, pilares o a otras máquinas, posibilidad de transporte con camión, tren, barco, etcétera, y también para la resistencia del suelo, sobre todo cuando la máquina se instala en pisos con otra planta o con sótanos debajo.

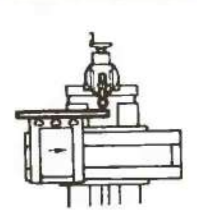
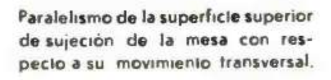
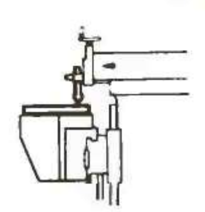
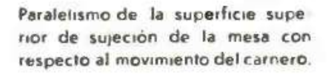
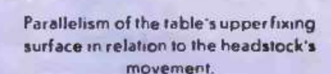
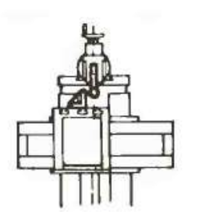
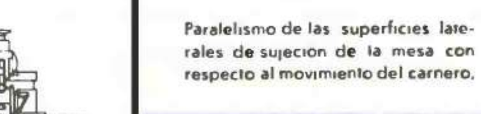
ENGRASE Y ENTRETENIMIENTO. Son un conjunto de normas que recomienda el fabricante para que la máquina tenga un funcionamiento satisfactorio sin averías de ninguna clase. Además de la limpieza suelen indicarse los puntos de engrase, su periodicidad y el lubricante más adecuado.

VERIFICACIÓN. Los fabricantes escrupulosos entregan con la máquina un certificado de garantía en el que hacen notar los defectos de paralelismo, perpendicularidad, etc., que tienen las diversas partes de la máquina, especialmente las móviles. Estos defectos deben estar siempre por debajo de los máximos errores de medida permitidos por las normas de verificación aceptadas por diversos países. A título de ejemplo añadimos un cuadro de verificación extraído de un catálogo comercial.

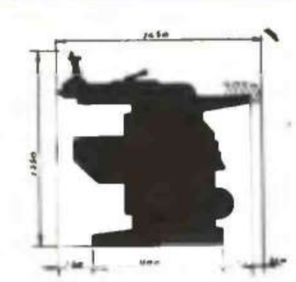
VERIFICACION DE LIMADORA



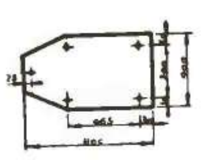
SHAPER VERIFICATION

	 Paralelismo de la superficie superior de sujeción de la mesa con respecto a su movimiento transversal.	Reloj palpador. Regleta, longitud aproximada 2 veces el ancho de la mesa.	0,02 sobre 300 mm. Máximo 0,05.
	Parallelism of the table's upper fixing surface in relation to its cross movement.	Handling micrometer. Ruler, approximate length 2 × width of table.	0,02 per 300 Meximun 0,05
	 Paralelismo de la superficie superior de sujeción de la mesa con respecto al movimiento del carnero.	Reloj palpador. Regleta, siendo la longitud, aproximadamente, la de la mesa	0,02 sobre 300 mm. Maximo 0,05
	 Parallelism of the table's upper fixing surface in relation to the headstock's movement.	Handling micrometer. Ruler, length aproximately that of the table	0,02 per 300 mm. Maximun 0,05
	Paralelismo de la ranura de trazador de la superficie superior de sujeción de la mesa con respecto al movimiento del carnero	Reloj palpador. Regleta de tope, siendo la longitud aproximadamente, la de la mesa	0,03 sobre 300 mm Máximo 0,06.
	Parallelism of the markeroff groove in the table's upper fixing surface in relation to the headstck's movement	Handling micrometer. Stop Ruler, length approximately that of the table.	0,03 per 300 mm. Maximun 0,06
	 Paralelismo de las superficies laterales de sujecion de la mesa con respecto al movimiento del carnero.	Reloj palpador. Regleta de tope siendo la longitud aproximadamente la de la mesa.	0,03 sobre 300 mm. Máximo 0,06
	Parallelism of the table's lateral fixing surfaces in relation to the headstock' movement	Handling micrometer. Stop-Ruler, length approximately that of the table.	0,03 per 300 mm. Maximun 0,06.









CEPILLADORA DE PUENTE

Conviene advertir que no es adecuado el empleo de la limadora cuando hay que trabajar piezas voluminosas o muy pesadas. En el caso de que la pieza sea de gran volumen el *carnero* tendría que salir en voladizo a demasiada distancia; entonces peligraría la exactitud del trabajo, porque una pequeña holgura en las guías se traduce en una apreciable variación en la altura de la pasada. Esta dimensión puede también ser excesiva en sentido transversal al *carnero*. La máquina admite como máximo el desplazamiento transversal que admite el movimiento de la mesa.

Las piezas demasiado pesadas no son adecuadas para la limadora, aunque la máquina este provista de apoyo desmontable para la mesa.

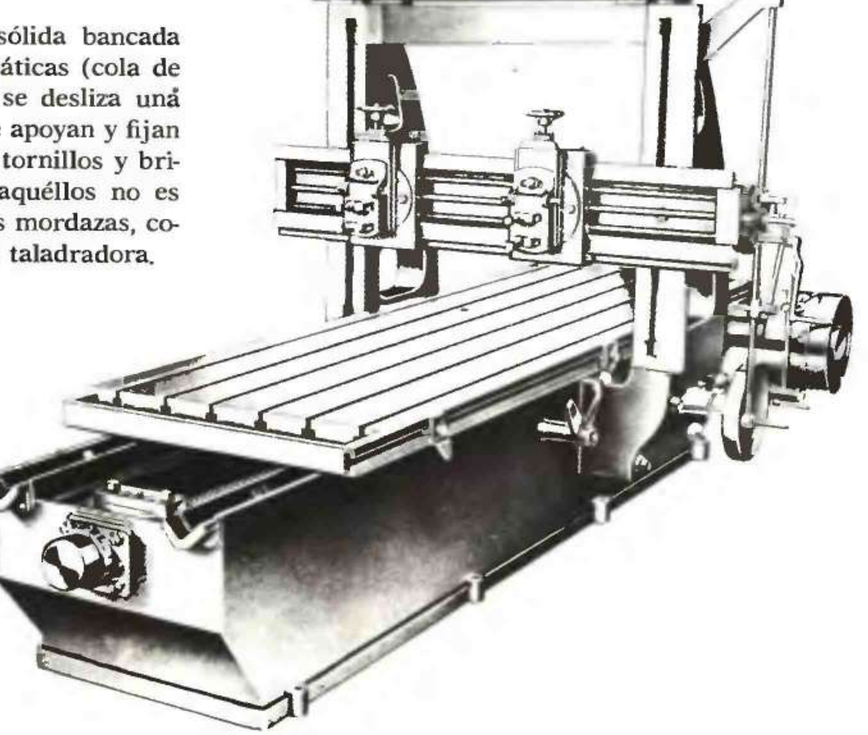
Es necesaria, por tanto, una máquina capaz de conseguir superficies planas en piezas pesadas o voluminosas para suplir a la limadora en estos cometidos. Esta máquina se llama CEPILLADORA DE PUENTE o simplemente CEPILLADORA.

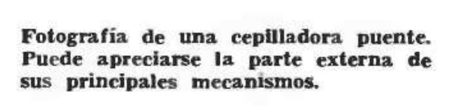
La diferencia fundamental del funcionamiento de una limadora y el de una cepilladora consiste en que mientras en la primera el movimiento de corte Mc lo tenía la herramienta, en la segunda lo tiene la pieza. En la cepilladora el movimiento de avance Ma corre a cargo de la herramienta.

Máquina	Movimiento corte Mc	Movimiento avance Ma	Movimiento penetración
Limadora	Herramienta	Pieza	Herramienta
Cepilladora	Pieza	Herramienta	Herramienta

DESCRIPCION DE LA MAQUINA

La cepilladora consta de una sólida bancada de fundición con unas guías prismáticas (cola de milano, en V, etc.) sobre las que se desliza una mesa plana con ranuras T, donde se apoyan y fijan las piezas por el procedimiento de tornillos y bridas, dado que por el tamaño de aquéllos no es posible realizar esta fijación con las mordazas, como se hace en la limadora y en la taladradora.





Fotografía de una cepilladora puente. Puede apreciarse la parte externa de sus principales mecanismos.

Fijación por tornillos y bridas.

Tope a apoyo graduable.

MESA MOVIL
RODILLO
ACEITE
BASTIDOR

Sistema de engrase de la mesa.

Arrastre de la mesa: por cremallera y por tornillo.

Cuando la pieza no presenta una superficie de apoyo plana debe recurrirse al empleo de topes de apoyo graduables, como puede verse en la figura contigua.

Para que disminuya el roce de la mesa con las guías, éstas se lubrican por medio de engrase a presión. Con ayuda de pequeños fosos con aceite, y por medio de rodillos medio sumergidos y en contacto con las guías de la mesa, éstas van engrasándøse.

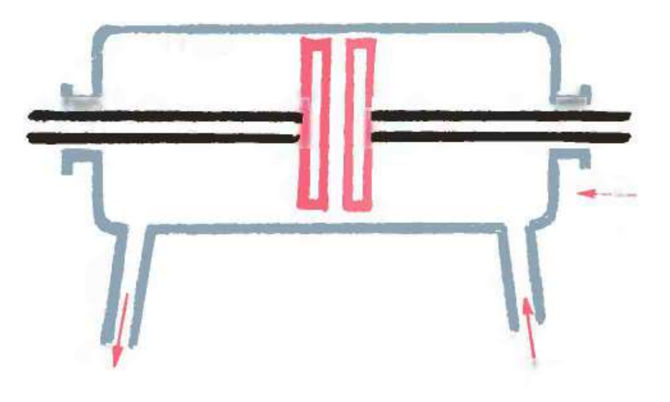
La mesa se desliza sobre las guías de la bancada o bastidor con un movimiento rectilíneo alternativo, producido generalmente por un piñón que actúa sobre una cremallera unida a la parte inferior de la mesa.

También puede emplearse el sistema de tornillo y tuerca.

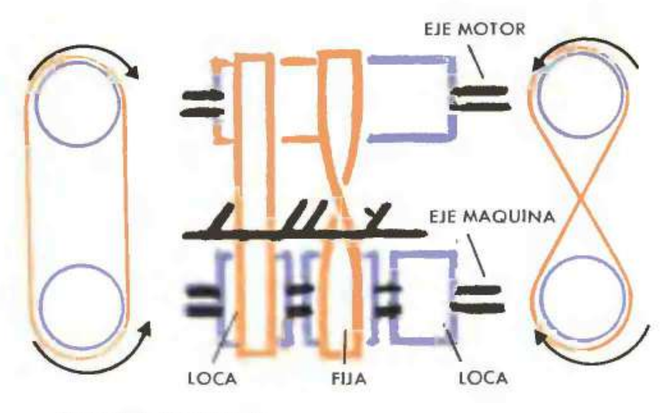
Las máquinas más modernas consiguen esta impulsión por medio de un émbolo, que se mueve en el interior de un cilindro impulsado por aceite a presión inyectado por ambos lados de modo alternativo.

En todos los sistemas indicados es necesario provocar la inversión del movimiento. En el primer caso el piñón tiene que cambiar su sentido de giro. En el sistema de tornillo será éste el que cambie de sentido de giro. Y en el de émbolo, una llave cambia el punto de entrada del aceite a presión por el opuesto. La máquina lleva a un lado de la mesa móvil unos topes que pueden disponerse con distinta separación. Estos topes son los que, moviéndose con la mesa, actúan sobre un sistema de palancas que cambia el sentido del movimiento.

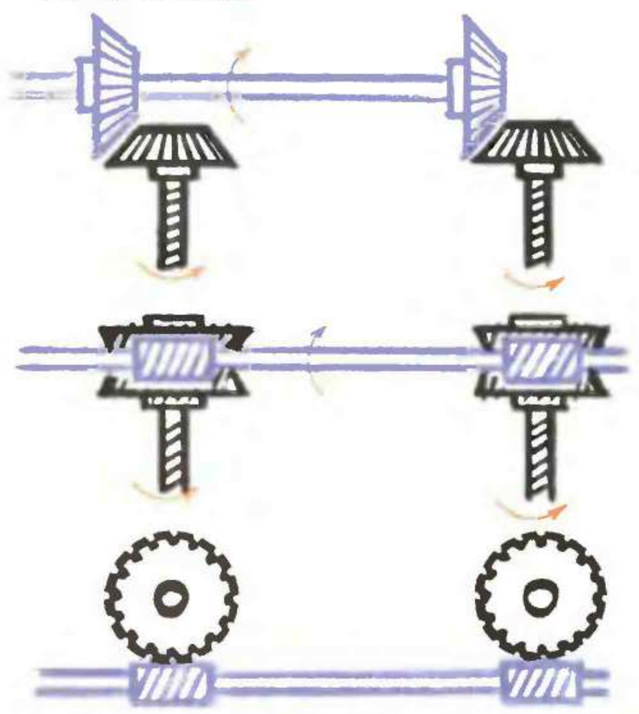
La separación entre estos topes y su colocación en la mesa dependen asimismo de la colocación de la pieza, ya que deben producir la inver-



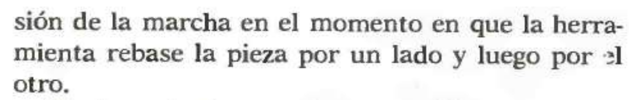
Inversor de émbolo.



Inversor de correas.



Husillos para el movimiento de avance de la herramienta.



sión de la marcha en el momento en que la herramienta rebase la pieza por un lado y luego por el otro.

En las máquinas antiguas movidas por correa plana de cuero la inversión se producía por medio de una doble correa, una de ellas cruzada. Vea la figura.

Cuando el tope correspondiente llega a la palanca, las horquillas se desplazan y la correa que actuaba sobre la polea fija pasa a otra polea loca. Sobre esta polea actúa ahora la otra correa, la cual cambia el sentido de giro.

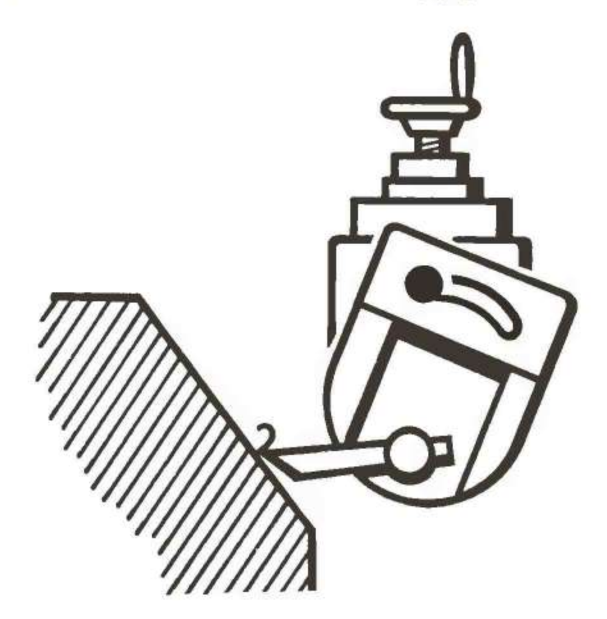
En las máquinas de émbolo la palanca que acciona el tope hace girar la llave de paso del aceite a presión. De este modo lo que era tubo de entrada pasa a ser tubo de salida.

En las máquinas más modernas, movidas por tornillo o cremallera, la inversión se lleva a cabo por medio de mecanismos magnéticos que actúan sobre embragues especiales. De este modo se consigue que la carrera de retroceso sea más rápida.

Las herramientas se fijan de manera análoga a como hemos visto en la limadora. La herramienta recibe el movimiento de avance Ma para superficies horizontales, por medio de un husillo, también horizontal, que se mueve intermitentemente al final de cada pasada.

Si la superficie que se desea trabajar es perpendicular a la mesa, este movimiento de avance Ma lo recibe el puente a través de dos husillos verticales que giran simultáneamente, unidos por una barra superior. Esta barra está provista de piñones cónicos o tornillos sin fin.

Cuando se cepillan superficies planas inclinadas es preciso actuar sobre la escala graduada que se halla bajo el portaherramientas, de modo similar a como se hace en la limadora.



E-16

APENDICE



ELECTROMETRIA

Instrumentos de medida
Generalidades
Tipos de instrumentos



LECCION Nº 1



1

GENERALIDADES

Con esta lección empezamos el estudio de una rama de la electricidad que tiene una importancia indiscutible por lo mucho que ha cooperado y coopera en el desarrollo técnico de la industria: LA ELECTROMETRÍA.

Con el nombre de ELECTROMETRÍA denominamos la ciencia que trata de las medidas de magnitudes eléctricas y no eléctricas, aprovechando para ello distintos fenómenos debidos a una corriente eléctrica.

Entre las magnitudes que los aparatos electrométricos pueden medir contamos intensidad, tensión, potencia, frecuencia y resistencia, como más representativas de los circuitos eléctricos.

Existen magnitudes físicas no eléctricas cuyo cálculo cuantitativo puede efectuarse gracias al aprovechamiento de distintos fenómenos eléctricos. Así, la intensidad lumínica, el calor, la intensidad del sonido y otras magnitudes pueden medirse por medio de aparatos de funcionamiento eléctrico.

Sería largo citar los nombres de todos los científicos que con su aportación han hecho posible la moderna técnica de las mediciones eléctricas, porque nuestra lista debiera incluir los de todos los pioneros de la electricidad. Franklin, Coulomb, Galvani, Volta, Ampère, Faraday, Joule..., etc., nombres que representan los cimientos de este monumento de ciencia que es la electrotecnia, con toda la amplitud de concepto que puede abarcar la palabra. Ciencia exacta en cuanto puede trabajar con cantidades concretas, que día a día, cuanta más perfección se consigue en el control y aprovechamiento de la energía eléctrica, mayor exactitud requieren en su apreciación.

No puede extrañar que los inicios de la ciencia electrométrica surgieran de las necesidades que derivaban de la pura investigación científica. Media un considerable vacío entre la construcción netamente artesana de los primeros instrumentos de medida, cuya utilidad tenía sus límites dentro de los trabajos de laboratorio, y la aparición de los primeros voltímetros y amperímetros industriales de Ayrton y Perry. Hacia 1889 Thompson inventa y lanza al mercado el primer contador de energía eléctrica.

LOS INSTRUMENTOS DE MEDIDA

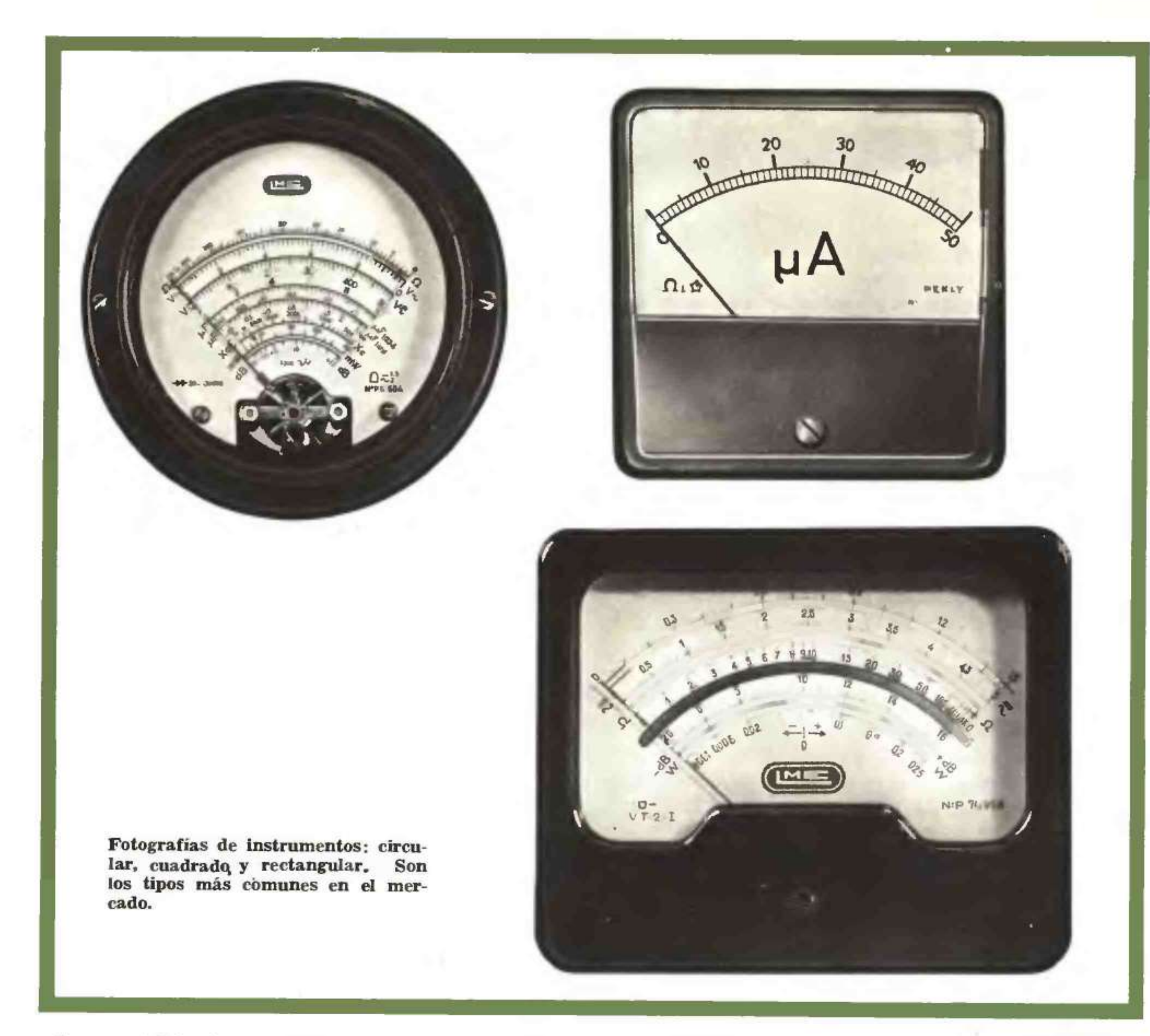
Actualmente, cuando la electrometría abarca un amplio campo de aplicaciones, es imposible pensar que pueda existir alguien (máxime si posee algunos conocimientos de electricidad, por mínimos que sean) que desconozca la forma o apariencia externa de los instrumentos que permiten efectuar la medición de una magnitud eléctrica.

El instrumento tipo puede ser definido como una caja cerrada de material aislante en cuya cara frontal aparece un arco de circunferencia de abertura determinada y graduado convenientemente. Barriendo radialmente este arco se mueve una aguja, que es el fiel que, al detenerse sobre un punto de la escala graduada (denominada generalmente esfera), indica la lectura a efectuar.

El ángulo barrido por la aguja depende, naturalmente, del valor de la magnitud eléctrica que haya provocado su desplazamiento.

La forma que hasta el momento puede considerarse tradicional para los aparatos de medida es la circular. Parece la más lógica, dado que la escala de lecturas está situada sobre un arco de circunferencia. Sin embargo, para facilitar la precisión en la apreciación de las distintas medidas — cosa que se consigue, entre otros sistemas, dando mayor amplitud a la carátula graduada —, la forma externa de los instrumentos ha variado considerablemente; han aparecido nuevos modelos, que responden a exigencias tanto de orden práctico como estetico, que si bien no afectan a unos resultados técnicos sí contribuyen a que el trabajo sea más agradable.

Así, pues, además de la forma circular, encontramos en el mercado, como más comunes, instrumentos rectangulares, cuadrados y en forma de sector circular. La forma externa, empero, no influye en la calidad.



Fotografías de instrumentos: circular, cuadrado y rectangular. Son los tipos más comunes en el mercado.

La aparición de nuevas materias ha permitido que los fabricantes las adoptasen en sus instrumentos cuando de su aplicación no se derivan perturbaciones de orden técnico. Por ejemplo, es ya corriente ver instrumentos cuyo frontis queda cubierto totalmente por una pieza o tapa de plástico transparente. Se gana en visibilidad, puesto que para trazar la esfera graduada puede aprovecharse toda la superficie. Sin embargo, merma la solidez del aparato, punto a tener muy en cuenta dado el elevado precio que tiene un instrumento de medida de precisión aceptable.

CLASIFICACION DE LOS INSTRUMENTOS

Es evidente que puede establecerse una primera clasificación al considerar el tipo de magnitud que pueden medir. De ahí, la denominación de amperímetros, voltímetros, vatímetros, óhmetros, capacímetros, frecuencímetros, etc., según se trate de instrumentos para medir amperajes, voltajes, vatajes, valores óhmicos, capacidades, frecuencias, etc.

Pero, como veremos más adelante, un mismo instrumento puede ser apto para medir magnitudes distintas. En general, la utilidad del instrumento depende de su constitución interna; de la naturaleza del mecanismo excitado por la corriente cuya intensidad, voltaje, potencia, resistencia que encuentra a su paso, etc., pretendemos medir. Esto es lo que desde un punto de vista téc-

nico diferencia los instrumentos de medida: su sistema eléctrico de desviación de la aguja. En este sentido podemos hablar de una real clasificación, ya que con ella se distinguirá una particularidad técnica.

Los instrumentos de medida se dividen en:
Instrumentos de bobina móvil e imán fijo.

- Instrumentos de hierro movil o electromagnéticos.
- Instrumentos electrodinámicos.
- Instrumentos de inducción.
- Instrumentos térmicos.
- Instrumentos electrostáticos.
- Instrumentos electrónicos.

INSTRUMENTOS DE BOBINA MOVIL

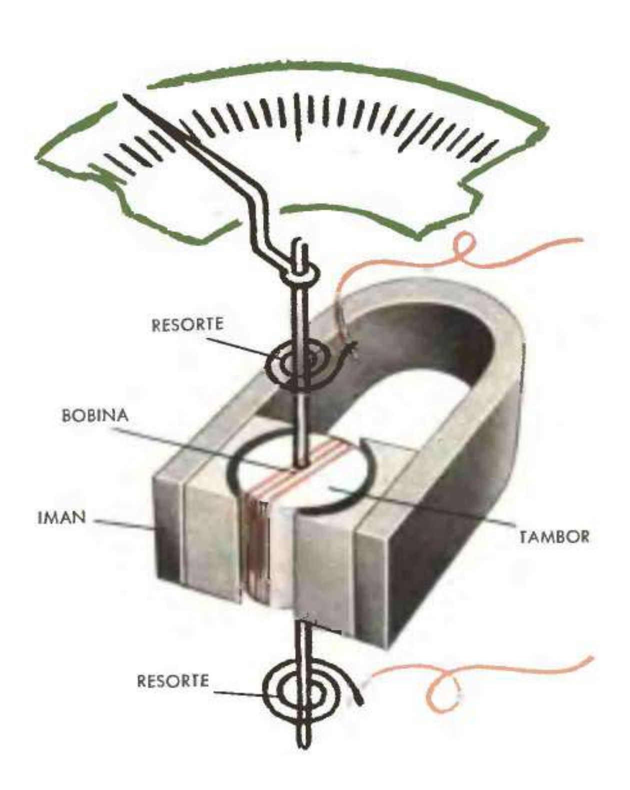
El mecanismo de estos instrumentos se fundamenta en el conocido fenómeno del desplazamiento que sufre un conductor inmerso en un campo magnético, cuando por dicho conductor circula una corriente.

Sabemos que el sentido del desplazamiento depende del sentido de la corriente y que dicho desplazamiento (o la fuerza que lo motiva) está en razón directa de la intensidad de la corriente.

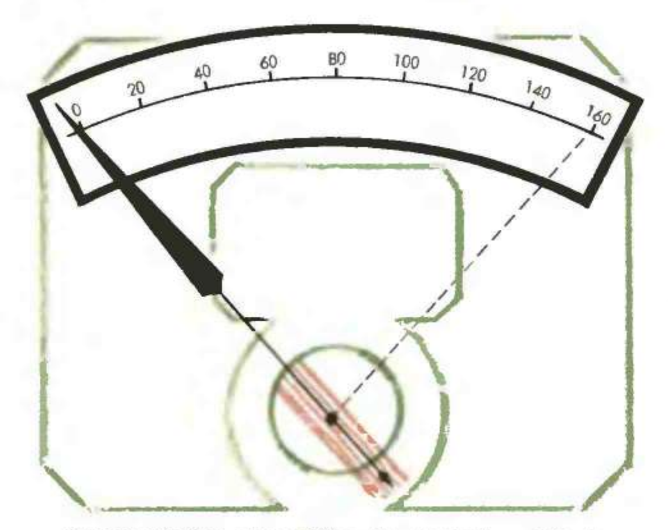
Veamos cómo se aprovecha este fenómeno en electrometría, fenómeno en el cual se fundan los principales sistemas de medición por lecturas directas.

Sin duda, el tipo de instrumento más empleado es el llamado de bobina móvil o de cuadro móvil.

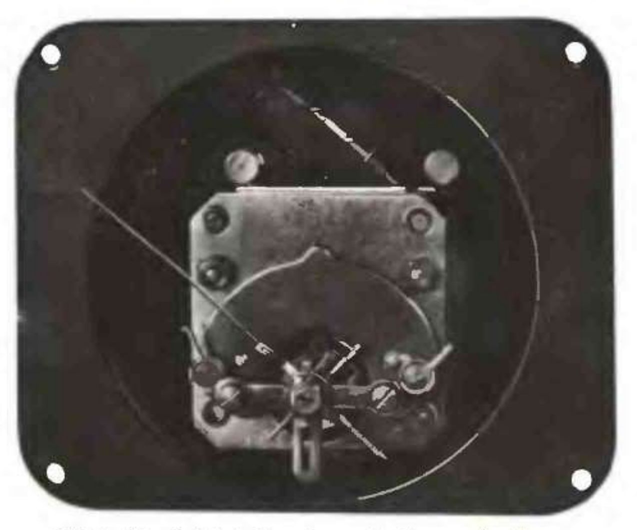
Su mecanismo está formado por un imán permanente cuyos polos, enfrentados, dibujan una circunferencia perfecta. En coincidencia absoluta con el centro de esta circunferencia, determinada por los polos del imán permanente, gira un tambor metálico sobre el que se ha devanado un número calculado de espiras en el sentido del eje. Esta bobina, de forma rectangular, justifica el nombre de cuadro móvil con que se conocen los instrumentos de este tipo.



Dibujo demostrativo de la forma constructiva convencional de un instrumento de cuadro móvil.



Representación esquemática de un instrumento de cuadro móvil.



Fotografía del interior de un instrumento de cuadro móvil.

El eje del tambor constituye el centro de giro de la aguja del instrumento, solidaria a él. Sobre el citado eje se fijan dos resortes en espiral, enrollados en sentidos opuestos, que generalmente son de bronce fosforoso. Dichos resortes constituyen los terminales de la bobina; y al mismo tiempo sirven de amortiguadores que evitan los desplazamientos bruscos de la aguja y la mantienen sobre el punto cero cuando el instrumento está desconectado.

Estos aparatos se conocen con el nombre de instrumentos Deprez y D'Arsonval, que fueron los primeros que los utilizaron para medir intensidades.

La intensidad de la corriente que atraviesa la bobina móvil, en efecto, es proporcional a la desviación de la aguja. Se cumple que $I = K \times \alpha$.

En esta igualdad, el factor α representa la abertura del ángulo descrito por la aguja; K es un factor de proporcionalidad, que depende exclusivamente de la construcción del instrumento y que se conoce con el nombre de CONSTANTE DEL INSTRUMENTO.

Debido a la proporcionalidad entre la intensidad y la desviación, la escala de estos instrumentos lleva una graduación uniforme (separación constante entre las señales), lo que facilita de modo extraordinario las lecturas. Son, pues, instrumentos cuyo sistema es adecuado para medidas de precisión.

Se comprende, empero, que se trata de instrumentos sólo aptos para la medición de corrientes continuas, puesto que el sentido de la desviación de la aguja arrastrada por el desplazamiento de la bobina depende del sentido de la corriente que la atraviesa. Si cambia la polaridad, el desplazamiento será opuesto al anterior, lo cual, con c.a., daría lugar a continuas oscilaciones de la aguja.

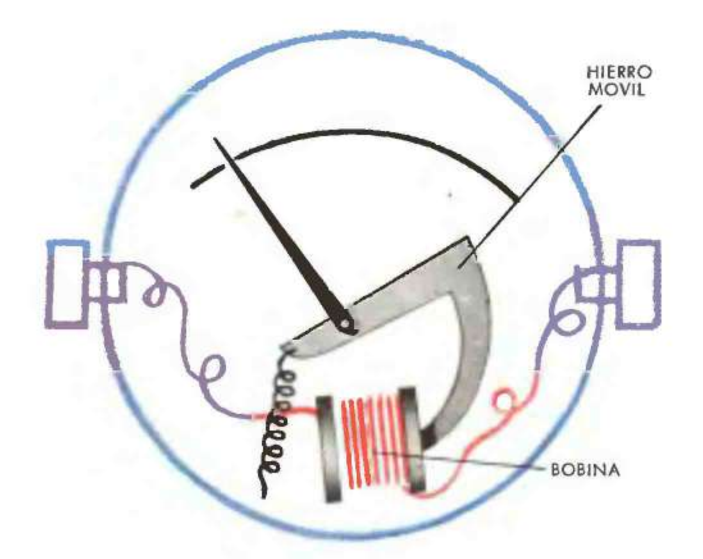
Sin embargo, ya veremos cómo, por medio de circuitos especiales, estos instrumentos pueden utilizarse también para medir corrientes alternas. Mejor dicho: veremos cómo una corriente alterna rectificada (convertida en continua) afecta al instrumento, el cual da entonces el valor eficaz de la magnitud medida.

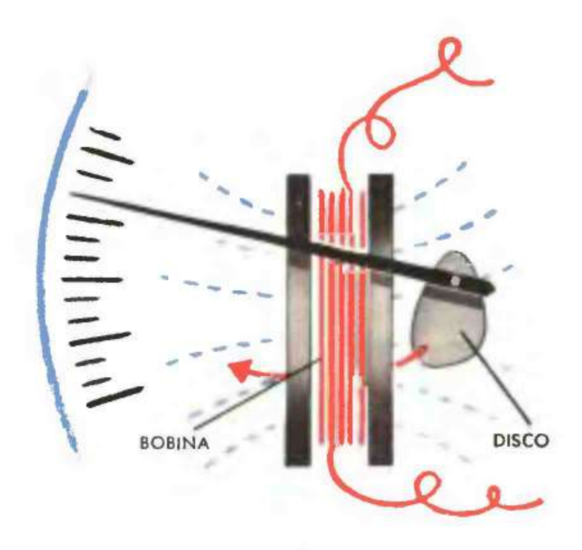
INSTRUMENTOS DEL HIERRO MOVIL

El principio de estos aparatos se encuentra en los efectos magnéticos que proporciona una bobina cuando por ella circula una corriente.

Dentro de este grupo de instrumentos encontramos matices distintos, modelos que presentan pequeñas diferencias en su construcción, pero que fundamentalmente constan de los siguientes elementos:

Una bobina y una pieza de hierro, que gira sobre un eje, excéntrica y solidaria a la aguja del aparato. Cuando la corriente a medir atraviesa la bobina, ésta adquiere propiedades de imán, con lo que atrae la pieza metálica y la hace girar sobre su eje; en el giro arrastra la aguja, que describe un arco tanto mayor cuanto más intensa sea la corriente que se aplique a la bobina.





He ahí dos dibujos esquemáticos de las estructuras mas comunes de los instrumentos de hierro móvil.

Dentro de la familia de los instrumentos de hierro móvil también encontramos otro sistema, de cuya construcción da una clara idea su oportuna representación gráfica. Se trata de un mecanismo formado de la inevitable bobina, por cuyo eje geométrico se hace pasar el árbol que arrastra la aguja. Sujeta a este árbol móvil, y en la zona cubierta por el interior de la bobina, se halla una lámina de hierro (es el aspa móvil) que se ve arrastrada por el campo magnético creado en la bobina por la corriente a medir.

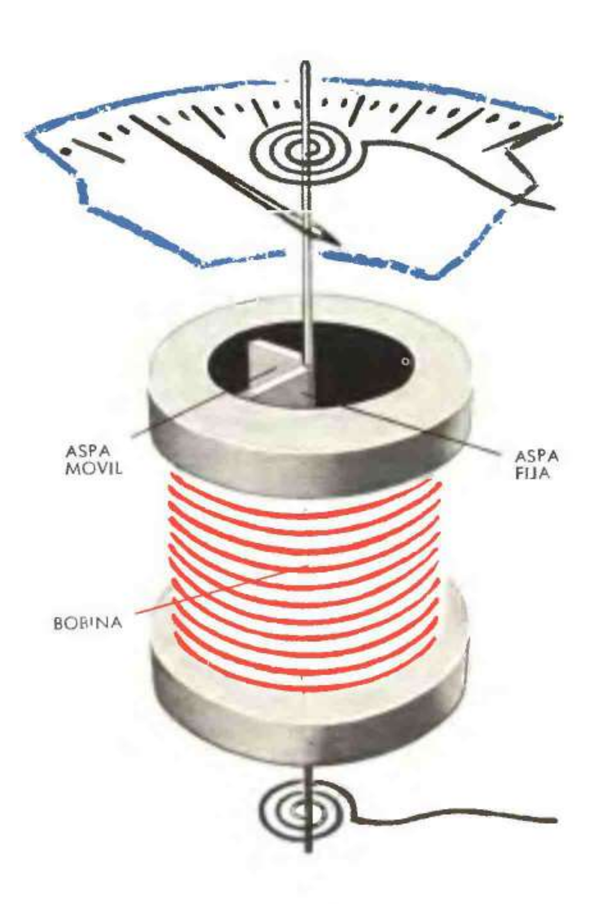
El giro del aspa móvil queda limitado por otra aspa fijada al carrete de la bobina. Cuando ambas están superpuestas la aguja debe coincidir con la señal cero.

En estos instrumentos, la escala no es uniforme; pero debido a que las virtudes magnéticas de la bobina no dependen del sentido de la corriente, resulta que tanto pueden medir corrientes continuas como corrientes alternas.

La sensibilidad de estos instrumentos — o sea, su capacidad de acusar intensidades muy pequeñas — es muy inferior a la que puede conseguirse por el procedimiento de la bobina móvil.

Por otra parte, son sensibles a los campos magnéticos, lo cual no los hace aconsejables en instalaciones cercanas a grandes masas férricas o a líneas de transporte para elevadas tensiones.

En resumen, diremos que se trata de instrumentos de menor precisión, de montaje sencillo y, en consecuencia, de precio muy inferior al de los instrumentos de cuadro móvil, por cuyo motivo son muy empleados en cuadros de control y para medidas que no requieran gran exactitud.



Dibujo esquemático de un instrumento con aspa móvil.

Fotografías del exterior e interior de un sencillo instrumento de hierro móvil que se ajusta al primer esquema de la página anterior.





INSTRUMENTOS ELECTRODINAMICOS

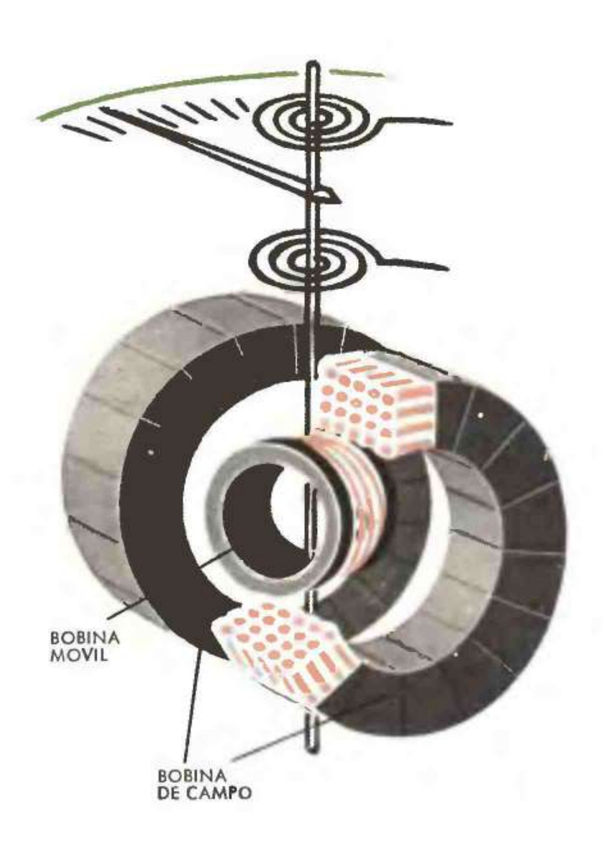
En este apartado nos separamos ya del tipo de instrumentos de aplicación común en el campo de la electricidad. Pero ello no quiere decir que los sistemas que siguen carezcan de interés; se trata simplemente de instrumentos cuyas aplicaciones específicas se encuentran limitadas por los márgenes que señalan unas especiales condiciones técnicas.

El primer tipo que debemos considerar es el electrodinámico, que en su aspecto técnico es una variante del instrumento de cuadro móvil. Mientras en éste el campo magnético está creado por un imán permanente, en los electrodinámicos se obtiene por medio de dos bobinas que forman un electroimán y que pueden conectarse en serie con la bobina móvil.

Esta conexión hace que el instrumento sea adecuado para corriente continua y alterna, ya que si bien con c.a. la polaridad de las bobinas fijas o bobinas de campo varía en cada semiperíodo, también se invierte en la bobina móvil. Por tanto, el efecto del par de fuerzas es siempre un giro en el mismo sentido.

Este sistema requiere una escala no uniforme cuando se trata de medir intensidades y tensiones, por lo que raramente se emplean para estos fines. En cambio, la escala de potencias tiene total uniformidad, razón por la que los instrumentos electrodinámicos se aplican de modo específico para la medición de potencias.

Los campos magnéticos de las bobinas, lo mismo que en los instrumentos de hierro móvil, son débiles y quedan fácilmente afectados por los posibles campos externos al instrumento. Claro que, en la práctica, la mayoría de los fabricantes se preocupan para protegerlos con dispositivos antimagnéticos.





INSTRUMENTOS DE INDUCCION

Daremos una breve noticia sobre estos aparatos de medida, muy poco usados y que, por actuar por efectos de inducción electromagnética, sólo pueden aplicarse a la medición de corrientes alternas.

En síntesis están formados por un disco o tambor al que está unida la aguja indicadora. Este disco queda enfrentado a dos o tres campos magnéticos (producidos por una corriente alterna monofásica o trifásica respectivamente); campos que inducen sobre el elemento giratorio sendas corrientes que motivan el par de fuerzas capaces de moverlo a tenor de la mayor o menor intensidad de los campos.

Los instrumentos de inducción tienen una gran sensibilidad frente a las variaciones de frecuencia y temperatura.

En la práctica, lo hemos dicho, se emplean muy poco; casi en exclusiva para la medición de potencias en contadores.

INSTRUMENTOS TERMICOS

El principio de estos aparatos se inspira en algo muy simple: saber que el paso de una corriente a través de un conductor produce un aumento de su temperatura, lo que se traduce en una dilatación de aquél.

Por un sistema teóricamente muy sencillo se consigue que la aguja acuse la dilatación del hilo conductor. Creemos que el gráfico correspondiente a este apartado es lo bastante elocuente como para que sea superfluo añadir nada más.

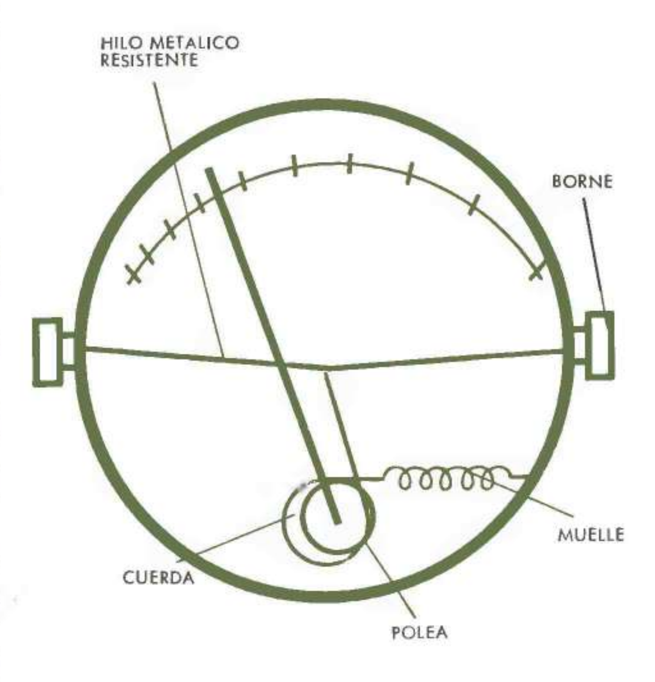
Como, según la ley de Joule, la temperatura del hilo, y por lo tanto su dilatación, aumentan según el cuadrado de la intensidad de la corriente que pasa por él (recuerde que $Q = 0'243^2 \times R$), la escala de estos instrumentos es irregular: las primeras divisiones están mucho más juntas que las últimas, cosa que dificulta muchísimo la lectura de las intensidades débiles.

Son instrumentos para corriente continua y alterna (basta una sola escala), insensibles a los efectos de los campos magnéticos.

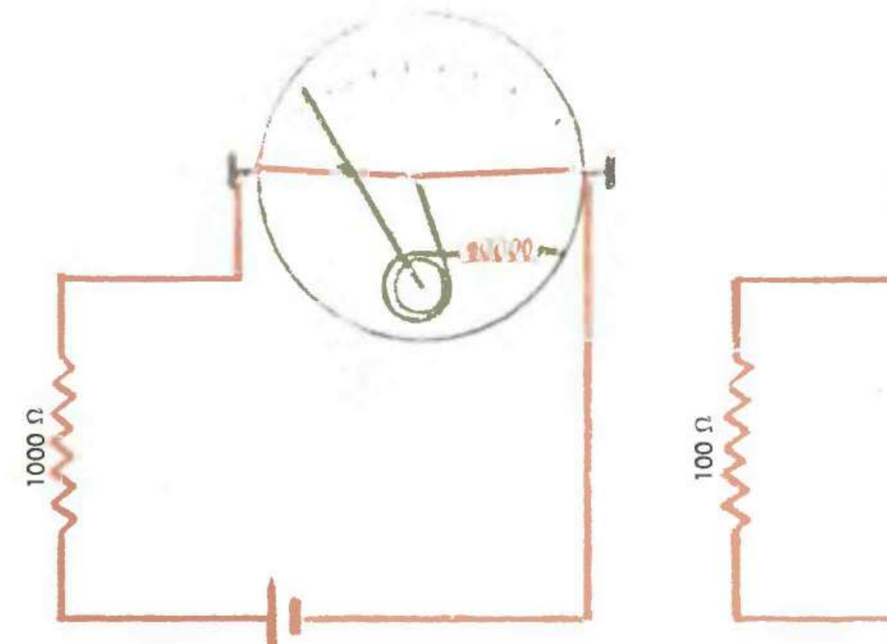
Se emplean principalmente para corrientes de alta frecuencia.

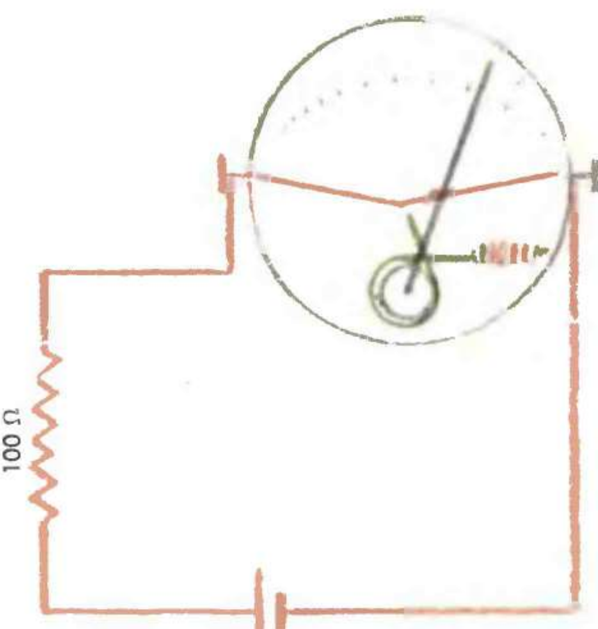
Para evitar en lo posible la influencia de la temperatura exterior sobre el hilo resistente, que en los instrumentos de buena calidad es de platino-iridio, se equipan con dispositivos correctores de temperatura.

Al cabo de cierto tiempo de funcionar estos instrumentos, pierden en exactitud, consecuencia de los efectos del recalentamiento que constantemente actúa sobre ellos. Además, son delicados en grado sumo y requieren especial cuidado, sobre todo en el sentido de no someterlos jamás a un exceso de corriente que podría fundir el hilo térmico.



Representación esquemática de un instrumento térmico.





La dilatación del hilo resistente depende de la intensidad que por él circule.



Aspecto exterior de un miliamperímetro térmico. Observe la escala, muy irregular, sobre todo en sus primeras divisiones.

INSTRUMENTOS ELECTRONICOS

He ahí otro sistema, que se emplea en unos instrumentos cuya aplicación tiene un campo muy reducido. Concretamente, sirven para medir tensiones, con preferencia cuando son superiores a 1000 voltios.

Actúan según el principio de Coulomb, o ley de atracción y repulsión de cargas. Se trata, en resumen, de conseguir que dos conductores, que se atraen o repelen debido a la carga eléctrica que hayan adquirido, arrastren la aguja indicadora.

INSTRUMENTOS ELECTROSTATICOS

Cerramos esta descripción sobre la naturaleza de los instrumentos de medición mencionando la existencia de aparatos de medida que actúan con el concurso de circuitos electrónicos, donde se aprovechan las propiedades rectificadoras y amplificadoras de las válvulas termoiónicas.

Estos ingenios son útiles en especial para la medición de magnitudes muy pequeñas. En realidad no es el instrumento en sí (que acostumbra ser un instrumento de cuadro móvil) lo que permite las micromedidas, sino el circuito electrónico a él conectado.

Estos aparatos tienen la ventaja de no absorber prácticamente ninguna parte de la corriente que se trata de medir. Se utilizan casi en exclusiva en laboratorios electrónicos y trabajos de investigación en general.

Son aparatos muy complejos y de alto precio, que no estudiaremos con mayor amplitud por considerar que no forman parte de los temas propios de un Tratado de electricidad.

Por su misma naturaleza, estos instrumentos deben quedar protegidos de los campos electrostáticos.

Existe una serie de instrumentos indicadores de tensión, fundados en el mismo principio, cuya misión no es una medición concreta, sino la simple indicación de la existencia o no existencia de tensión en una línea, dato importante sobre todo en líneas de alta tensión.



CLASES DE INSTRUMENTOS SEGUN EL PORCENTAJE DE EXACTITUD

La elección del instrumento idóneo para efectuar una determinada medición se halla supeditada al grado de precisión con que deba ser conocido el valor que se mide, y que depende a su vez del tipo de trabajo.

En términos profesionales, la exactitud de un instrumento determina la clase del mismo. Así, los aparatos de medida aplicables a los menesteres electrométricos de laboratorios industriales son generalmente de clase 0'25 o de clase 0'1. Con esta denominación se definen instrumentos cuyo error de medición es, como máximo del 0'25 por 100 o del 0'1 por 100.

Así, pues, si con un instrumento de clase 0'25 efectuamos una lectura de 100 V, sabemos que la tensión real existente entre los dos puntos experimentados no será superior a 100 + 0'25 ni inferior a 100 — 0'25 voltios.

En mediciones normales, de cuya exactitud o falta de exactitud no se derivan consecuencias considerables, bastan instrumentos de clase 2'5 por 100.

AGUJAS

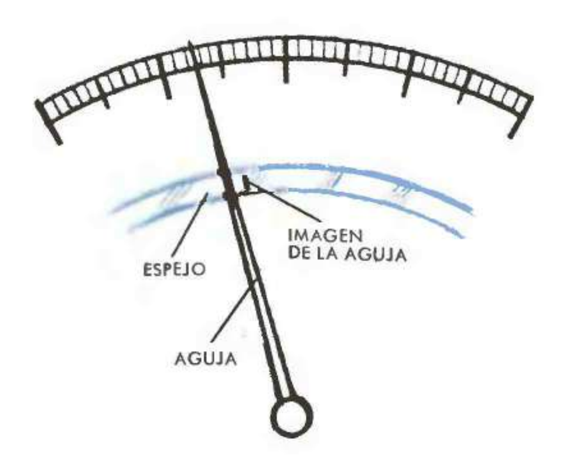
Parte de la exactitud de la lectura depende de la forma de la aguja del aparato y de la calidad de su mecanizado. Según el tipo de aparato, la forma de su aguja será una u otra; y entre las varias experimentadas por los industriales del ramo, han quedado tres como más características: de lanza, de cuchilla y angular.

Las agujas de lanza se aplican a los instrumentos destinados a proporcionar lecturas visibles a distancia.

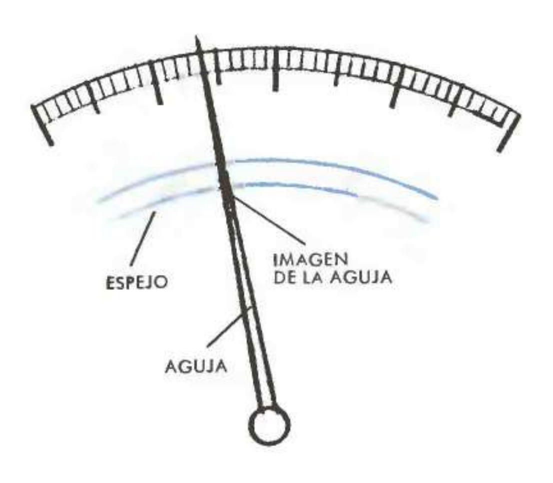
Los otros tipos se destinan a instrumentos de mayor precisión, en los cuales la lectura debe hacerse desde muy corta distancia.

Para evitar los errores de apreciación debidos a la paralaje (cuando la lectura se efectúa oblicuamente al plano de la aguja) se recurre a la colocación de un espejo que refleja la imagen de la aguja. La lectura debe efectuarse de forma que la aguja y su imagen se confundan en una sola línea, señal evidente de que se mira perpendicularmente a la superficie de la escala.

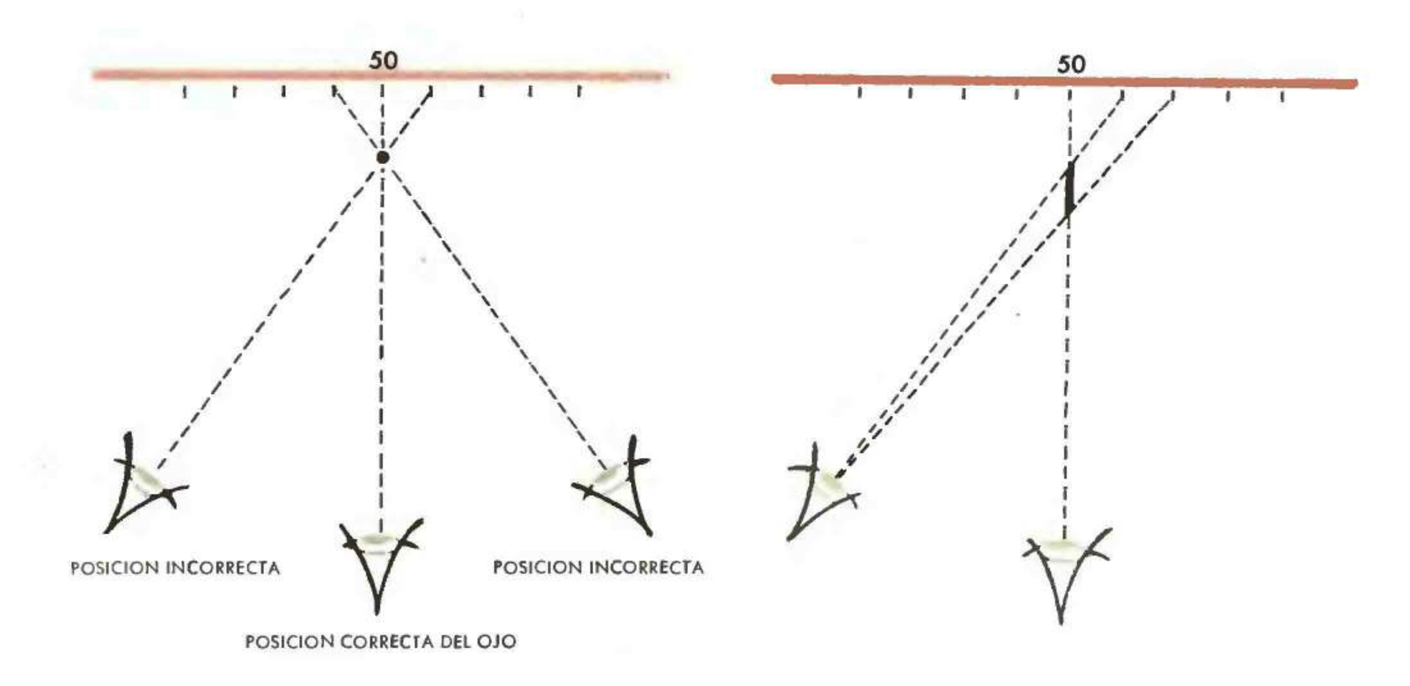




Para aumentar la fidelidad de la lectura se recurre a un espejo situado debajo de la aguja.



La lectura será correcta cuando la aguja y su imagen queden superpuestas. No veremos la imagen.

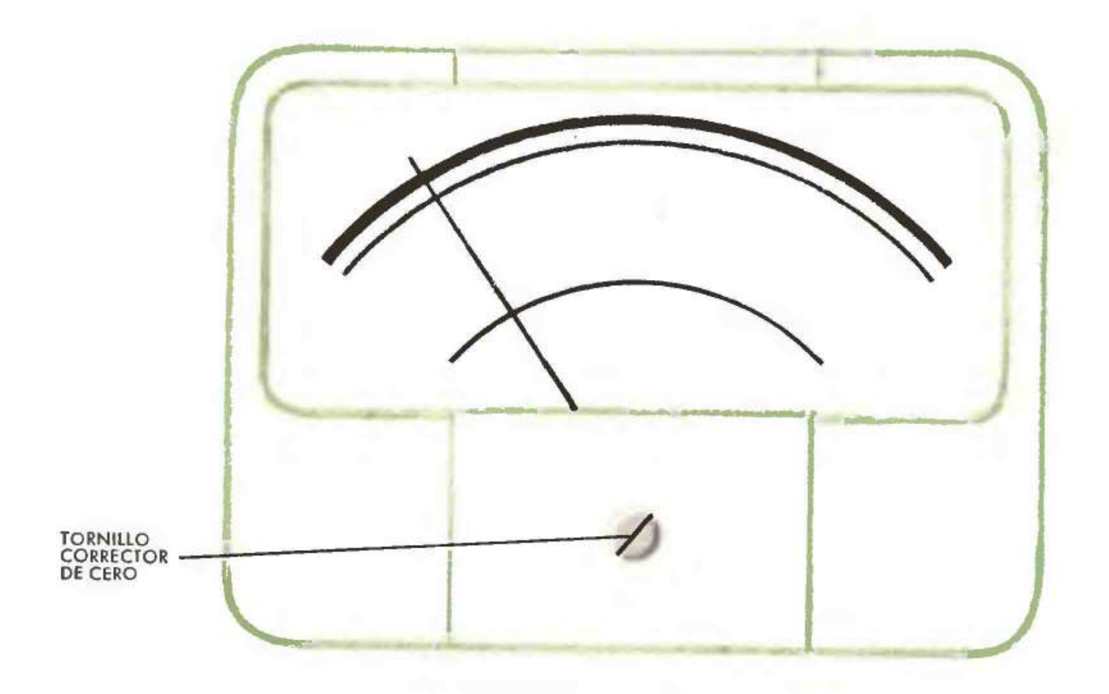


En estos dos gráficos se demuestra la utilidad de una aguja de cuchilla. Cuando la mirada no es perpendicular al plano de la esfera, veremos un cierto grueso de la aguja. Con mirada frontal, la aguja se convierte en una línea.

CORRECTOR DE CERO

Para terminar este estudio descriptivo, que nos ha servido de puerta de acceso a la electrometría, citemos la presencia en la mayoría de instrumentos del dispositivo de corrección de cero, absolutamente necesarios para obtener mediciones correctas.

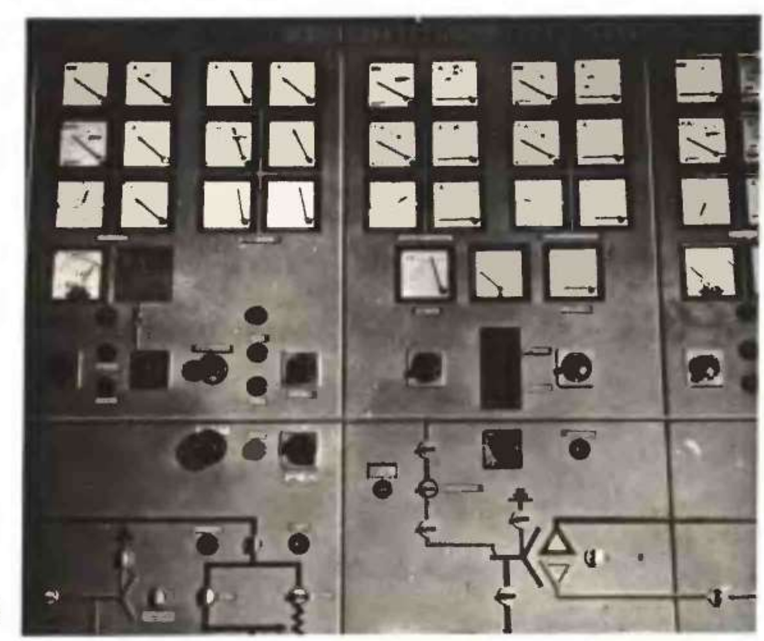
Se trata de un tornillo accesible desde el exterior y relacionado, en el interior del aparato, con el eje de giro de la aguja. Accionando este tornillo corrector de cero puede llevarse la aguja a derecha e izquierda para que coincida exactamente con la señal cero de la esfera.







PORTATILES

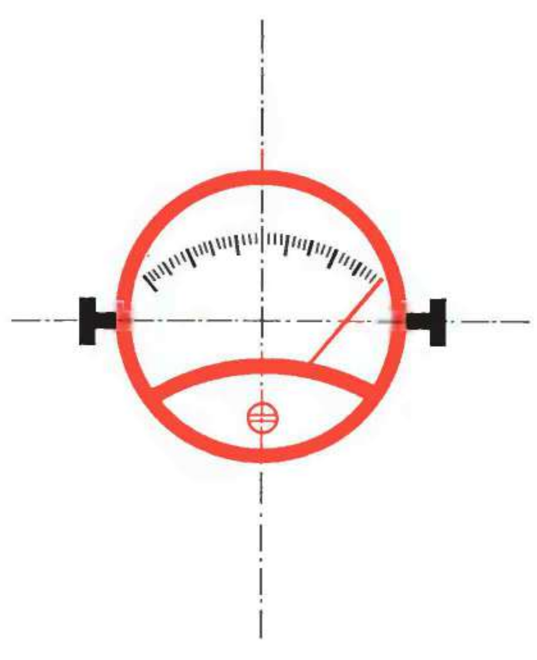


FIJOS

Conjunto de amperímetro, vatímetro, y voltímetro, incluidos en una maleta portátil. y paneles de control con instrumentos fijos.

ELECTROMETRIA

Métodos de medida
Aparatos más usados en c. c.
Miliamperímetros y milivoltímetros
Shunts



LECCION Nº 



2

METODOS DE MEDIDAS MAS CORRIENTES

METODO DE DESVIACION

Este método está basado en los efectos electromagnéticos, magnéticos, electrostáticos, térmicos, luminosos o químicos de las magnitudes eléctricas a medir.

Este sistema utiliza la lectura directa sobre la escala graduada de un aparato de aguja o de índice luminoso. El error de la magnitud leída se halla comprendido entre 0'2 a 3 % y puede reducirse al 0'1 % con aparatos de construcción muy cuidada. La longitud de la escala tendrá que ser de 150 mm como mínimo para aparatos de aguja sin sistema especial de lectura.

METODO DE COMPARACION

Este método utiliza el sistema de desviación para comprobar la igualdad de dos magnitudes, ya sea por simple sustitución (dos corrientes que se hacen pasar a través del aparato) o ya sea después de haber transformado o reducido una de ellas (comparación de dos corrientes enviadas a los arrollamientos de un galvanómetro diferencial con un número de espiras distinto). El error de medida puede ser inferior al 0'1 % para las desviaciones del orden de 150 mm.

METODO DE OPOSICION

Consiste en anular el efecto de la magnitud medida por un efecto de la misma naturaleza, pero cuantitativamente conocido. Por ejemplo, el puente de Wheatstone, en el que se oponen dos caídas de tensión a través de un galvanómetro.

El error de medida se encuentra determinado principalmente por la precisión del tarado (con patrones) de los elementos de comparación empleados en el proceso de medición, que pueden ser, por ejemplo, resistencias

METODOS ABSOLUTOS

Son poco utilizados en la industria y necesitan aparatos auxiliares no graduados. La magnitud a medir se expresa en función de las magnitudes fundamentales: longitud, masa, tiempo y magnitudes sin dimensión: número de espiras, etcétera. Pongamos un ejemplo: la atracción entre un plato fijo y uno móvil, llevados a potenciales distintos, puede ser equilibrada por un peso cuyo valor sea conocido. Con este valor, las dimensiones geométricas de los platos y la distancia que los separa se determina la diferencia de potencial entre ellos.

INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS. PAPEL DEL OPERADOR

Las condiciones esenciales de una medición correcta son las siguientes:

1. Definición exacta de la magnitud a medir. Conviene tener siempre en cuenta que la medición se realiza en un espacio perturbado por las acciones secundarias. Estas son debidas principalmente a los factores siguientes: temperatura, humedad atmosférica del suelo o de los objetos próximos, comprendido el operador; campo magnético terrestre, así como los campos de todas

clases, continuos o alternos, producidos por la proximidad de instalaciones eléctricas; parásitos de todas clases y duración de la medición. Si se trata de características de materiales, la composición química debe ser conocida con seguridad en vistas a la interpretación correcta de los resultados experimentados.

Para los aparatos que contienen hierro (bobinas, transformadores, máquinas giratorias, etc.) la incógnita debe tener un significado físico claro. Es, por tanto, absurdo hablar de la inductancia propia del primario de un transformador sin indicar la frecuencia, amplitud o valor eficaz de la tensión alterna aplicada; cuándo es senoidal (la forma de onda en caso contrario), así como el estado inicial del circuito magnético.

2. Juiciosa elección de los aparatos de medida y accesorios. Esta elección implica, sin duda alguna, un conocimiento minucioso de sus posibilidades en los casos de empleo más diversos, con objeto de preparar el ensayo en las mejores condiciones de estabilidad y sensibilidad. Conviene, además, someter cada aparato a cierto número de ensayos, especialmente en el campo de las medidas en que se pretende usarlo.

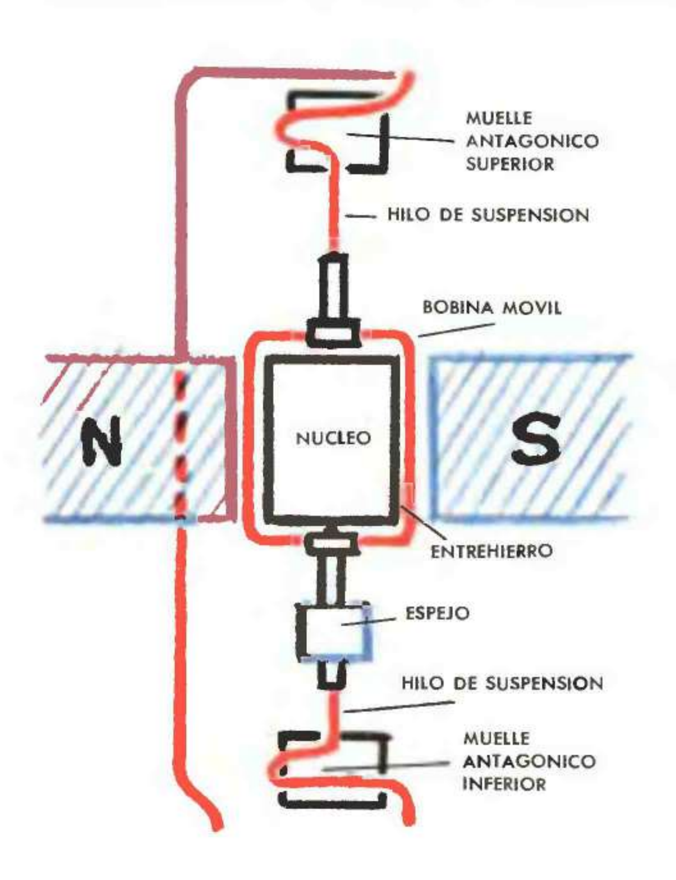
3. Habilidad del operador. Es necesaria esta habilidad para ejecutar correctamente las maniobras exigidas, como por ejemplo lecturas, regulaciones diversas, etc.

4. Realización correcta del montaje. Para realizar un montaje correcto se necesita lo siguiente: buenos contactos, aparatos de maniobra colocados al alcance de la mano, eliminación de las fugas y de las acciones parásitas inductivas o capacitivas entre los elementos de montaje o entre éstos y el operador.

5. Repetición de las medidas. La repetición se efectúa con parámetros auxiliares diferentes.

Además de todas estas recomendaciones que hemos expuesto, es imprescindible que, durante la medición, las condiciones de funcionamiento para los aparatos sean las normales.

MEDICIONES EN CORRIENTE CONTINUA. APARATOS DE MEDIDA DE USO FRECUENTE



Esquema de un galvanómetro de bobina móvil para un aparato óptico.

Galvanómetro de cuadro (bobina móvil) o de Arsonval

Por lo dicho en nuestra primera lección sobre medidas eléctricas (electrometría) tenemos una primera idea de la forma y funcionamiento de los instrumentos de bobina móvil. Son, sin duda, los galvanómetros más utilizados; y por esta misma razón, vale la pena que los conozcamos más a fondo.

El galvanómetro de cuadro se basa en la utilización de las fuerzas que actúan sobre un conductor recorrido por una corriente eléctrica que se halla situado en un campo magnético. Los aparatos de medida de bobina móvil sólo resultan indicados para efectuar mediciones en corriente continua. En el momento de pasar por la bobina, la corriente produce sobre el eje un par proporcional a la intensidad. La aguja del instrumento se desvía hasta que el par antagónico (originado por los muelles en espiral) equilibra al par eléctrico. En la práctica cabe decir que el conductor no es más que una bobina móvil suspendida en un campo magnético.

La figura que ofrecemos a continuación es la sección esquemática de un galvanómetro del tipo indicado.

Los imanes utilizados en la construcción de galvanómetros deben tener, ante todo, una gran es-

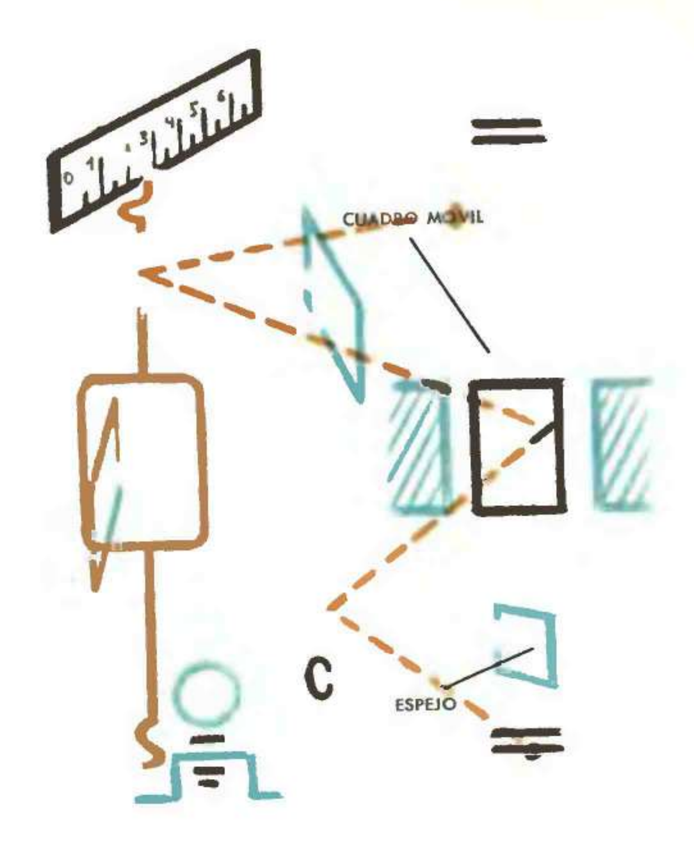
tabilidad en relación a las variaciones de temperatura, así como un insignificante envejecimiento. En el entrehierro, el campo debe ser radial y lo más constante posible.

El cuadro o bobina queda suspendido en el campo magnético por un hilo de bronce fosforoso tensado. El hilo superior se suelda a un pequeño resorte en espiral o bien a una lámina resorte de tensión convenientemente regulada. Esta tensión es de mucha importancia para la sensibilidad y proporcionalidad del aparato. Conviene añadir que este dispositivo mantiene la bobina perfectamente centrada en el entrehierro, aunque el aparato esté inclinado. El resorte, además, desempeña el papel de amortiguador de vibraciones y golpes.

Los galvanómetros llevan también un botón de puesta a cero por torsión del hilo superior; y los de precisión, un dispositivo de bloqueo con objeto de evitar averías durante el transporte del aparato.

Los dispositivos de lectura usados en la construcción de los galvanómetros son los siguientes: de escala y aguja o de escala y espejo.

Como hemos dicho antes, los galvanómetros utilizan para la lectura escalas graduadas y agujas o índices luminosos. A continuación presentamos muy esquemáticamente el equipo óptico de un galvanómetro de índice luminoso y su principio teórico.



Principio del galvanómetro óptico.

TORNILLO DE AJUSTE DE CERO

ESCALA GRADUADA

ESPEJO

LAMPARA

OPTICA

TORNILLOS PARA VARIAR LA POSICION DE LA LAMPARA Y OPTICA

TORNILLO PARA REGULAR LA POSICION DEL INDICE LUMINOSO EN LA ESCALA

EQUIPO GALVANOMETRO

Representación esquemática del equipo óptico de un galvanómetro a índice luminoso.

RECOMENDACIONES REFERENTES AL USO DEL GALVANOMETRO

1. Acostumbrarse a bloquear el galvanómetro después de usarlo y antes de cualquier traslado.

2. Guardar el galvanómetro a cubierto de las variaciones de temperatura bruscas y frecuentes.

3. Evitar la proximidad de imanes permanentes.

4. A ser posible, utilizar un soporte antivibratorio (conglomerado de corcho, fieltro, goma, montón de papel, etc.).

5. Conservar los bornes siempre limpios y libres de oxidaciones que puedan alterar la bondad de los contactos.

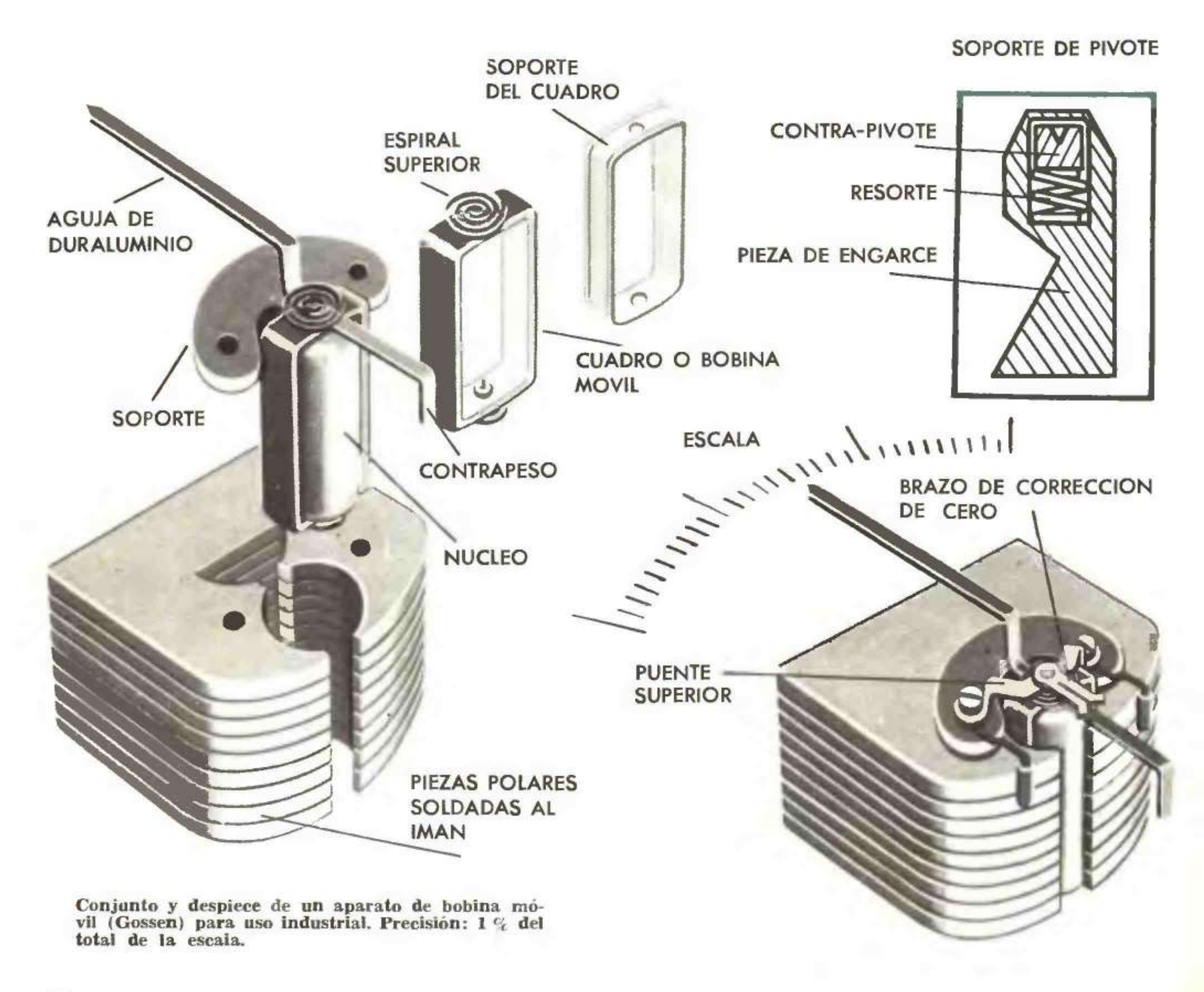
6. Al trabajar con el galvenómetro conviene asegurar un buen aislamiento entre el operador y el suelo.

7. No utilizar bornes auxiliares. En caso de ser necesario conviene comprobar que su aislamiento sea, como mínimo, de 100.000 Ω.

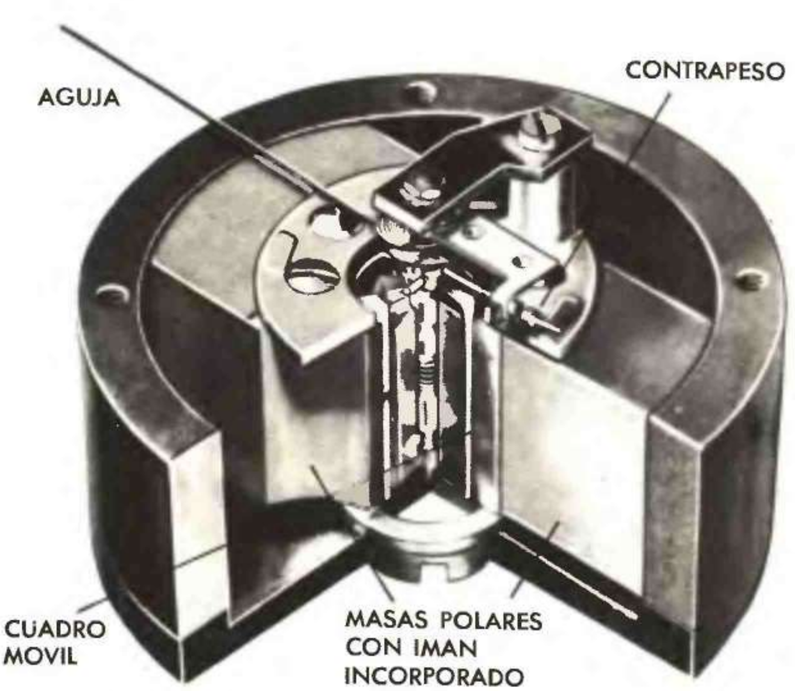
APARATOS DE MEDIDA DE BOBINA MOVIL A AGUJA

Estos aparatos de medida son galvanómetros de sólida construcción y poco sensibles debido al fuerte par antagónico de los muelles en espiral. La bobina móvil no queda suspendida, sino que pivota en dos cojinetes de rubí o de bronce fosforoso, en los de menor calidad.

El cuadro o bobina, en hilo de cobre, tiene un soporte generalmente de aluminio. Algunos aparatos prescinden del soporte y de esta manera mejoran sus propiedades mecánicas.



Conjunto y despiece de un aparato de bobina móvil (Gossen) para uso industrial. Precisión: 1 % del total de la escala.



Precisión: 0'2 % del total de la escala.
Aparato de laboratorio AEG. Bobina móvil.

MICROAMPERIMETROS

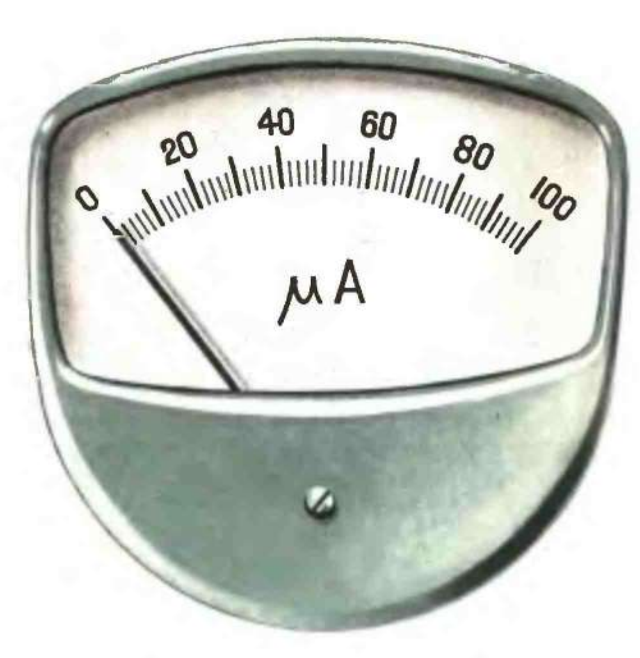
Los microamperímetros se utilizan en los laboratorios, en la técnica de medición de las corrientes débiles, como aparatos de precisión media, tanto en la modalidad *sobremesa* como en los tipos empotrables. Son galvanómetros tarados de consumo siempre superior a los 200 μA por mV y que fácilmente pueden alcanzar los 1000 μA por mV en las construcciones corrientes. Un microamperímetro corriente de 50 μA tiene una caída de tensión de 1000/50 = 20 mV. Debemos decir que es posible construirlos con una caída de tensión de 4 ó 5 mV.

Si aumenta la temperatura, aumenta también la resistencia de la bobina o cuadro; pero a igual corriente no varía la desviación de la aguja ya que la variación de la superficie de las espiras es insignificante.

Para escoger un microamperímetro deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. Si el aparato está destinado a funcionar en un circuito de varios millares de Ω es preferible un microamperímetro de pequeño calibre.

2. Para un circuito de resistencia dada es conveniente escoger un microamperímetro de resistencia similar a la del circuito.



Microamperímetro.

MILIVOLTIMETROS

Los milivoltímetros indican la diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito. Estos aparatos deben consumir el mínimo de corriente posible. Entre dos aparatos de igual tipo será preferible el de menor consumo. Para dar a conocer el consumo de un milivoltímetro se indica, general-

mente, la resistencia en ohmios por voltio, que es la inversa del consumo en amperios.

Pongamos un ejemplo: para un milivoltímetro de 10 mV y una resistencia de 50 Ω, la resistencia en Ω/V es de 50/0'01 = 5000 Ω/V. El consumo es 0'01/50 = 0'2 mA. Este consumo corresponde a la desviación total de la escala.

Si un milivoltímetro, sometido a una diferencia de potencial constante, retrasa su aguja al aumentar la temperatura del cuadro o bobina, es preciso conectar una resistencia estabilizadora en serie con el aparato. Esta resistencia puede tener un valor similar a la del cuadro, pero generalmente este valor es de dos a tres veces la resistencia interna del aparato dato que, como vemos, es necesario conocer.

APARATOS DE VARIOS ALCANCES

Dado un milivoltímetro capaz de medir cierta tensión a fondo de escala, puede conseguirse un milivoltímetro de varios alcances. Para ello debemos estudiar el empleo de resistencias en serie. Si la desviación total de la aguja del aparato se obtiene con una corriente de intensidad conocida i, la resistencia a conectar en serie con la r_i (resistencia interna del aparato) será:

$$r = \left(\frac{V}{i}\right) - r_i$$

V es el valor de la máxima tensión que ahora podremos medir con el aparato.

Veamos el siguiente ejemplo: tenemos un milivoltímetro de 0-50 mV con una $r_i = 5000\ \Omega$. Su consumo es $i = 10\ \mu A$. La resistencia en Ω/mV es:

$$\frac{5000}{50} = 100\ \Omega/mV$$

Para que este molivoltímetro pase a ser de 0-750 mV, el valor de la resistencia a intercalar en serie con la r_i del aparato será la siguiente:

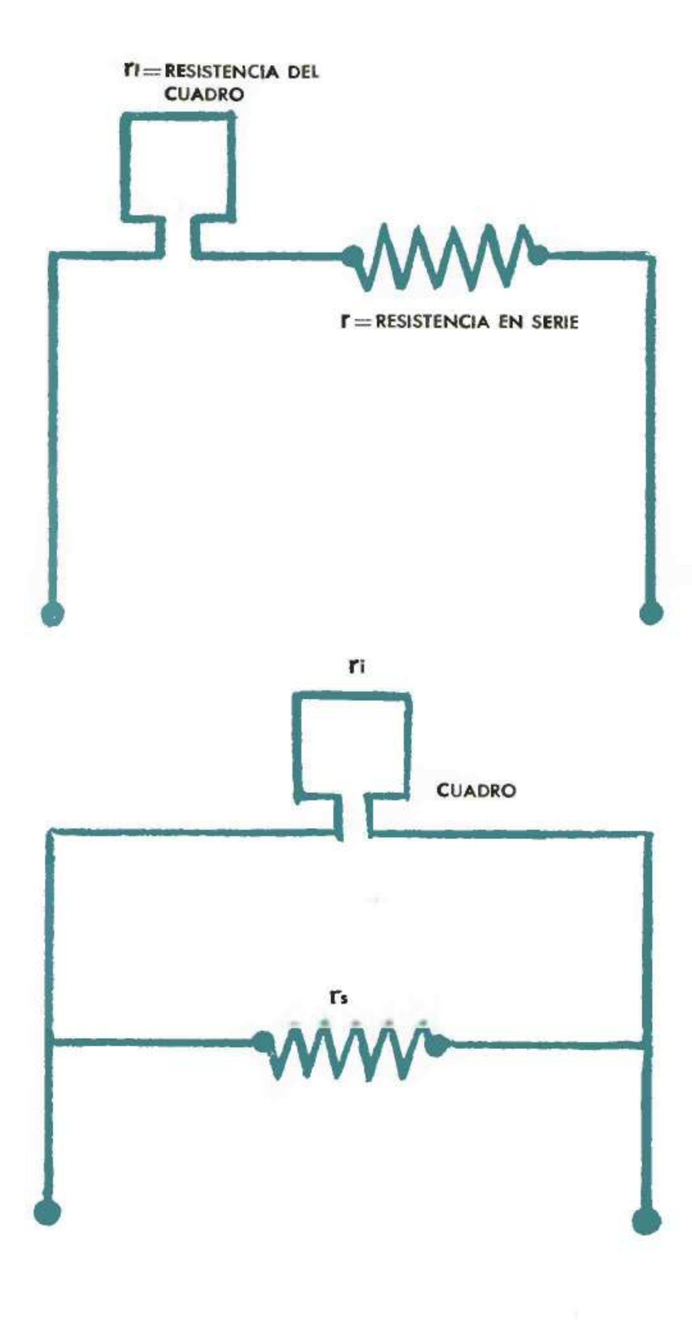
$$750 \times 100 - 5000 = 70000\ \Omega$$

Si el aparato es un microamperímetro de 0-10 μA puede aumentarse el alcance de la escala, a base de mantener la misma caída de tensión, utilizando *shunts* conectados a sus bornes. Un *shunt* no es otra cosa que una resistencia conectada en paralelo. Un *shunt* de resistencia r_s, conectado a los bornes del cuadro o bobina de resistencia r_i, tiene un poder multiplicador *m*, igual a $r_i + r_s/r_s$; de donde:

$$r_s = \frac{r_i}{m - 1}$$

Pongamos un ejemplo: sea un microamperímetro de alcance 0-10 μA; resistencia interna (o del cuadro) $r_i = 5000\ \Omega$. Deseamos que a fondo de escala nos señale una corriente de 500 μA. Para obtener el alcance 0-500 μA hay que conectarle en paralelo un *shunt* de poder multiplicador m = = 500/10 = 50. La resistencia de este *shunt* deberá ser:

$$r_s = \frac{r_i}{m - 1} = \frac{5000}{10 - 1} = \frac{5000}{49} = 102$$



PARA ESCOGER UN MILIVOLTÍMETRO DEBE TENERSE EN CUENTA QUE PARA UN ALCANCE DADO ES PREFERIBLE EL APARATO DE MAYOR RESISTENCIA INTERNA.

MILIAMPERIMETROS

Los miliamperímetros son aparatos derivados de los milivoltímetros con la esfera graduada en miliamperios. Están provistos de *shunts* ordinarios o universales, además de una resistencia en serie para compensar el efecto de temperatura. La caída de tensión, es, generalmente, de 30, 100 ó 300 mV.

Llamamos SHUNT UNIVERSAL al que tiene varios alcances de medida, o sea, aquel *shunt* cuya resistencia puede variar a voluntad del operador.

El esquema que sigue representa un miliamperímetro con resistencia estabilizadora r_e y tres *shunts*. Los valores indicados, la resistencia interna del aparato, o sea, la resistencia del cuadro r_c más la resistencia estabilizadora en serie r^e para la compensación de temperatura r_{s1}, r_{s2}, r_{s3} las re sistencias en los bornes. Los poderes multiplicadores correspondientes a los bornes de utilización OA, OB, OC, etc., son m_1, m_2, m_3, etc. Entre estos valores tenemos:

$$r_{s1} + r_{s2} + r_{s3} = R_s$$

Llamamos R_s al valor de la resistencia de todos los *shunts*.

Por otra parte, el poder multiplicador de cada *shunt* será:

$$m_1 = \frac{r_i + R_s}{r_{s1}}; \; r_i + R_s = m_1 \times r_{s1}$$

$$m_2 = \frac{r_i + R_s}{r_{s1} + r_{s2}}; \; r_i + R_s = m_2 \; r_{s1} + r_{s2})$$

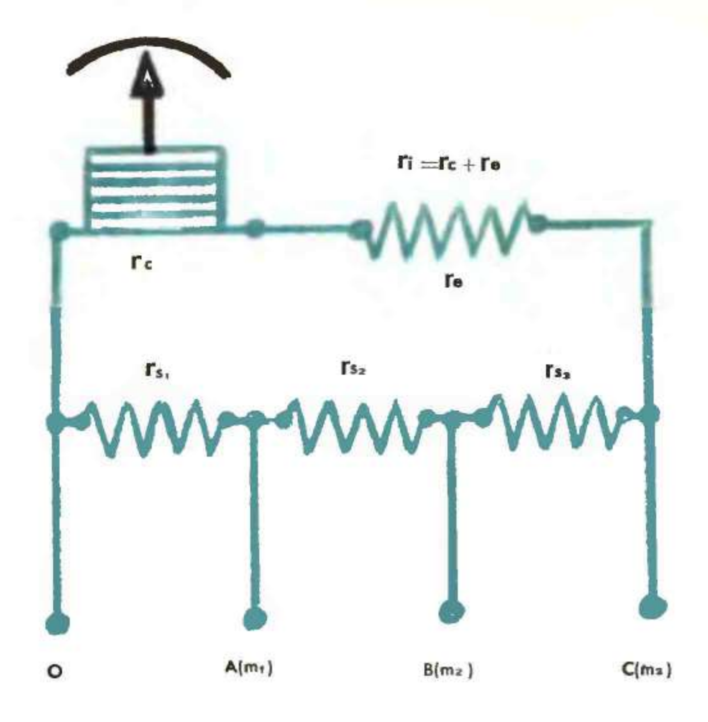
$$m_3 = \frac{r_i + R_s}{r_{s1} + r_{s2} + r_{s3}}; \; r_i + k_s \quad m_3 (r_{s1} + r_{s2} + r_{s3})$$

Observe que en estas tres expresiones aparece un numerador común $r_i + R_s$, que hemos despejado en cada igualdad obteniendo otras tres en las cuales el primer miembro es el mismo. Por tanto, podemos escribir:

$$m_1 + r_{s1} = m_2 (r_{s1} + r_{s2})$$
$$= m_3 (r_{s1} + r_{s2} + r_{s3}) = r_i + R_s$$

Partiendo de estas igualdades, se demuestra que para *n shunts* se cumple:

$$R_s = \frac{r_i}{m_n - 1}$$



LA RESISTENCIA TOTAL DE UN SISTEMA DE n SHUNTS ES IGUAL AL COCIENTE DE DIVIDIR LA RESISTENCIA INTERNA DEL INSTRUMENTO ENTRE EL PODER MULTIPLICADOR DEL ÚLTIMO SHUNT (m_n), MENOS LA UNIDAD.

Y también:

$$r_{sn} = r_{s1} \left(\frac{m_1}{m_n} - \frac{m_1}{m_n\text{-}1}\right)$$

LA RESISTENCIA DEL SHUNT ENÉSIMO ES IGUAL AL PRODUCTO DE LA RESISTENCIA DEL PRIMER SHUNT POR LA DIFERENCIA ENTRE LOS COCIENTES DEL PODER MULTIPLICADOR DEL PRIMER SHUNT POR EL DEL ÚLTIMO Y EL DEL PRIMERO POR EL PENÚLTIMO, O SEA n-1.

En particular, la resistencia del primer *shunt* será:

$$r_{s1} = R_s \frac{m_n}{m_1}$$

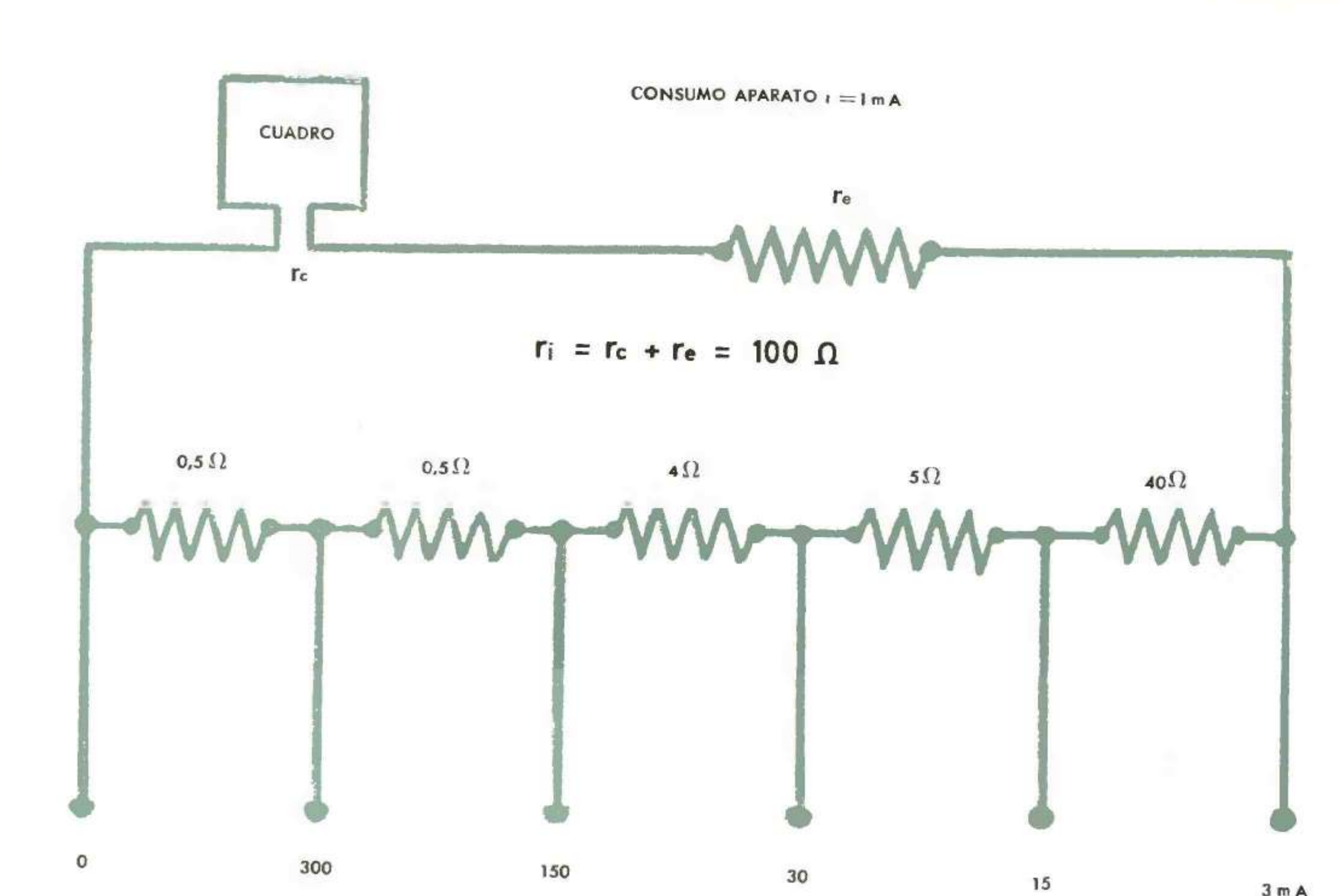
Siendo m_n el poder multiplicador del último *shunt* y la resistencia de r_{s2}, se obtiene por esta fórmula:

$$r_{s2} = {}_{s1} \left(\frac{m_1}{m_2} - 1\right)$$

Ejemplo

Disponemos de un aparato de alcance único: 100 mV, 100 Ω. Su consumo, por tanto, es de 1 mA a fondo de escala. Deseamos convertir este instrumento en un miliamperímetro con los siguientes alcances: 3, 15, 30, 150 y 300 mA.

Vea el esquema:



El poder multiplicador de cada *shunt*, puesto que la intensidad es 1, será:

$$m_1 = \frac{300}{1} = 300$$
$$m_2 = 150$$
$$m_3 = 30$$
$$m_4 = 15$$
$$m_5 = 3$$

Tenga presente que en este caso concreto el *shunt n* es el cinco.

Basta que apliquemos las fórmulas dadas, para saber la resistencia en ohmios que deberá tener cada *shunt*.

Calculeremos primero R_s.

$$R_s = \frac{r_i}{m_n - 1} = \frac{r_i}{m_5 - 1} = \frac{100}{3 - 1} = 50\ \Omega$$

Podemos calcular r_{s1} y r_{s2}:

$$r_{s1} = R_s \frac{m_n}{m_1} = 50 \frac{3}{300} = 5'5\ \Omega$$

$$r_{s2} = r_{s1} \left(\frac{m_1}{m_2} - 1\right) = 0'5 \left(\frac{300}{150} - 1\right) = = 0'5 \times 1 = 0'5\ \Omega$$

Y ahora, por la fórmula general, calcularemos las restantes resistencias r_3, r_4 y r_5.

$$r_3 = r_{s1} \left(\frac{m_1}{m_3} - \frac{m_1}{m_2}\right) = 0'5 \left(\frac{300}{30} - \frac{300}{150}\right) = = 0'5 \times 8 = 4\ \Omega$$

$$r_4 = r_{s1} \left(\frac{m_1}{m_4} - \frac{m_1}{m_3}\right) = 0'5 \left(\frac{300}{15} - \frac{300}{30}\right) = = 0'5 \times 10 = 5\ \Omega$$

$$r_5 = r_{s1} \left(\frac{m_1}{m_5} - \frac{m_1}{m_4}\right) = 0'5 \left(\frac{300}{3} - \frac{300}{15}\right) = = 0'5 \times 80 = 40\ \Omega$$

El esquema se ha dibujado con los valores indicados.

AMPERIMETROS

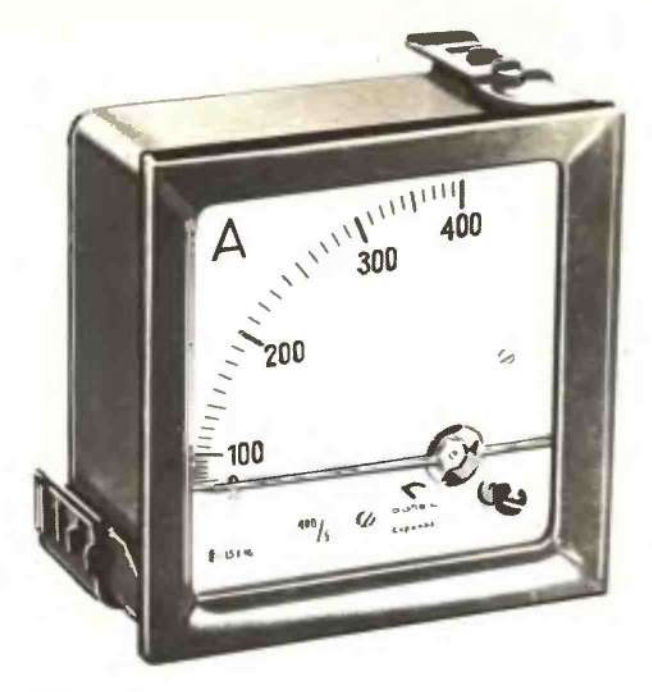
Los amperímetros son milivoltímetros cuya caída de tensión está comprendida entre 30 y 300 mV. Los diferentes alcances se obtienen con *shunts*, generalmente voluminosos y a cuatro bornes. A continuación reproducimos varios *shunts*.

Los *shunts* pueden estar protegidos. Representamos un *shunt* de este tipo.



Shunt montado dentro de una caja con pantalla metálica.

Pequeño muestrario de shunts de precisión (AEG).



Aunque es posible colocar algunos *shunts* en el interior de la caja del aparato, generalmente son exteriores cuando se trata de un instrumento destinado a un solo tipo de medidas. Cuando se trata de un medidor universal (el llamado téster) los sistemas de *shunts* se colocan en una caja general que a su vez lleva incorporado el instrumento.

Todos los *shunts* llevan marcada la caída de tensión en bornes para la corriente nominal y la resistencia del *shunt* en paralelo con el milivoltímetro.

Un buen *shunt* debe ser estable en función de la temperatura y el tiempo.

Los amperímetros están equipados con compensación de los efectos de temperatura. Cada constructor utiliza un sistema propio de compensación.

Amperímetro tipo industrial.

VOLTIMETROS

Los voltímetros proceden de los milivoltímetros y emplean resistencias conectadas en serie con el aparato. La resistencia en Ω/V del milivoltímetro determina el valor de la resistencia adicional para un alcance dado.

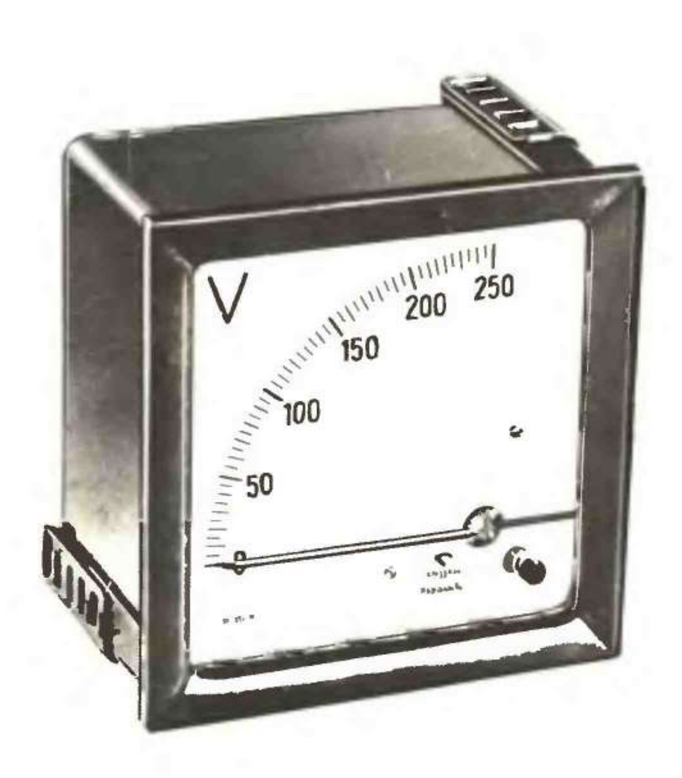
Un aparato de 100 Ω y 100 mV tiene una resistencia de 1000 Ω/voltio. Para un alcance de 75 V la resistencia total debe ser $75 \times 1000 = 75000\ \Omega$. Por tanto, la resistencia a conectar en serie será $75000 - 100 = 74900\ \Omega$.

Para alcances o sensibilidades superiores a 1500 V, las resistencias adicionales son generalmente exteriores y muy voluminosas.

Para medir la diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito debe escogerse un voltímetro cuya resistencia sea muy superior (unas quinientas veces) a la del circuito en los puntos donde se efectuará la medición.

Para evitar correcciones debidas al consumo propio del aparato, se impone una resistencia elevada del mismo en Ω/V. Debido a las constantes mecánicas, la precisión de estos aparatos está comprendida entre 1'5 a 2 % del total de la escala.

El efecto de temperatura en los voltímetros queda suficientemente compensado por la resistencia conectada en serie, muy necesaria, como ya hemos visto antes.

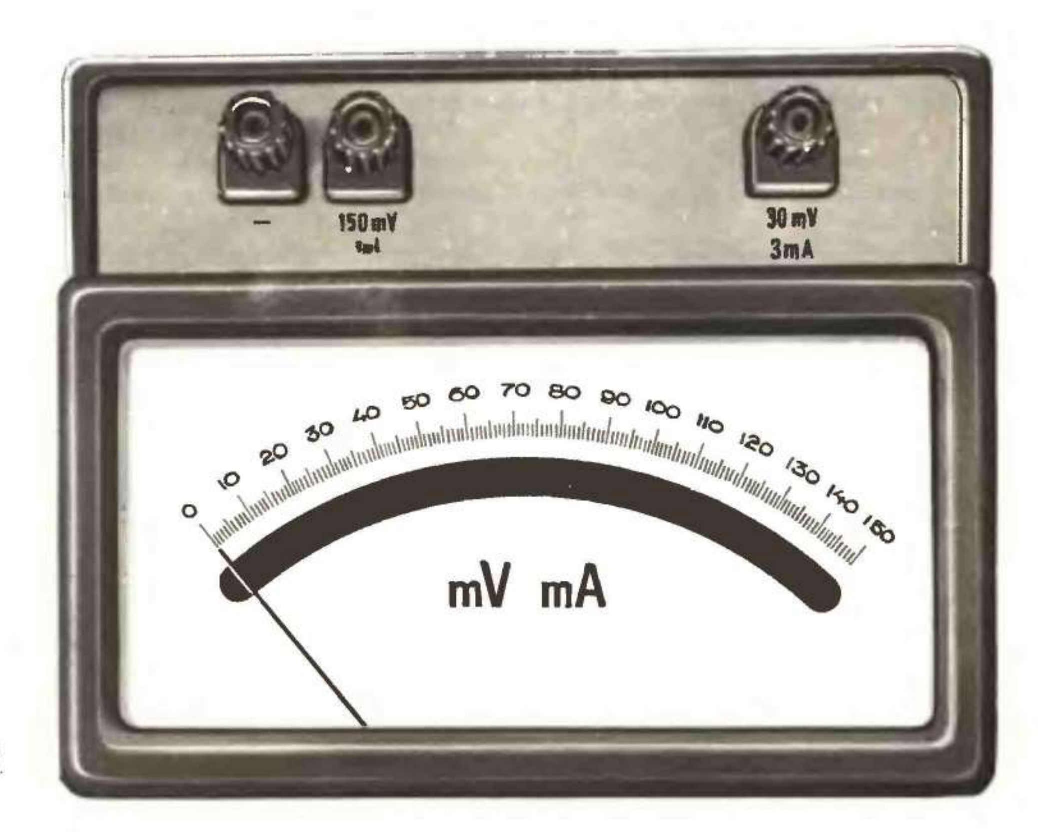


Voltímetro tipo industrial.

VOLTAMPERIMETROS

Son aparatos portátiles que funcionan como amperímetros y como voltímetros. Constan de un milivoltímetro al cual se adapta una serie de *shunts* y resistencias adicionales que, por medio de conmutadores, pueden ser intercalados o suprimidos del circuito a voluntad

Volt-amperímetro de laboratorio. Precisión: 0'2 % del total de la escala.



Volt-amperímetro de laboratorio. Precisión: 1 % del total de la escala.

DEFECTOS EN EL FUNCIONAMIENTO DE LOS APARATOS DE CUADRO MOVIL

A continuación ofrecemos una lista de las averías más corrientes en los instrumentos de medida de bobina o cuadro móvil.

1. *Debilitamiento del imán.* Se debe al envejecimiento, golpes muy violentos y calentamiento excesivo. Provoca un retraso en la lectura del aparato. El desplazamiento del *shunt* magnético puede corregir este defecto. Una vez reparado es preciso tarar el aparato. Si con la regulación del *shunt* no se resuelve la avería puede tararse el aparato y cambiar la escala.

2. *Inestabilidad de las resistencias adicionales.* La inestabilidad de las resistencias puede falsear las medidas en uno o varios alcances del aparato. Una medida cuidadosa de la resistencia para cada alcance permite localizar la resistencia defectuosa y sustituirla.

3. *Deformación de la aguja a causa de una sobrecarga.* Para corregir este defecto se inmovilizará la aguja con una pinza no magnética; con otra pinza de iguales características se enderezará mediante torsión de su extremidad.

4. *Aguja que ha rebasado el tope de fin de escala.* Cuando la aguja ha rebasado uno de los topes de fin de escala, para colocarla en posición correcta, hay que desatornillar el tope, pasar la aguja y volver a colocar el tope. No hay que levantar la aguja por encima del tope, pues en tal caso es fácil estropear los pivotes del cuadro.

5. *La aguja no retorna a cero cuando el aparato está desconectado.* Los aparatos casi siempre llevan un tornillo para la corrección o ajuste a cero. Por tanto, se corregirá el cero actuando sobre este tornillo.

6. *Retorno a cero irregular.* Se debe a la suciedad acumulada en los pivotes. Por tanto, la mejor solución es limpiarlos. Si una vez limpios continúa el defecto conviene cambiar los pivotes, que seguramente están desgastados.

7. *La aguja se pega a los topes.* Este defecto está provocado por cargas estáticas. Para favorecer la circulación de estas cargas puede humedecerse ligeramente el cristal del aparato.

RESISTENCIAS UTILIZADAS EN CORRIENTE CONTINUA

Las resistencias de laboratorio, muy utilizadas en múltiples experiencias y que serán siempre taradas, pueden clasificarse en cinco grupos principales:

1. *Patrones de débil resistencia.* Sus valores oscilan entre 0'0001 y 1 Ω Su precisión máxima es de 0'01 %.

2. *Cajas de resistencias.* Sus valores están comprendidos entre 0'1 Ω y 100.000 Ω. Su precisión máxima es 0'01 %.

3. *Cajas de resistencias* de 100 KΩ a 10 MΩ. Su precisión máxima es de 0'02 %.

4. *Resistencias metalizadas* que siguen la ley de Ohm hasta 100.000 MΩ.

5. *Resistencias de película o capa de carbón,* estabilizadas hasta 1 MΩ. Su precisión es del 1 %.

CAJAS DE RESISTENCIAS

Las cajas de resistencias están formadas por cierto número de elementos resistentes estables y de baja reactancia, que pueden conectarse en serie por medio de uno o varios conmutadores o bien con clavijas cónicas insertadas en fichas. La figura adjunta representa una caja de resistencias con conmutadores de selección.

Las cajas de resistencias a ficha y clavijas sólo se fabrican sobre la base de grupos de diez fichas, cada uno de los cuales tiene una clavija única que le es propia y que no encaja en las demás décadas





Vista del panel superior de una caja de resistencias con conmutadores. La lectura total posible con esta caja sería de 20.100'1 ohmios.

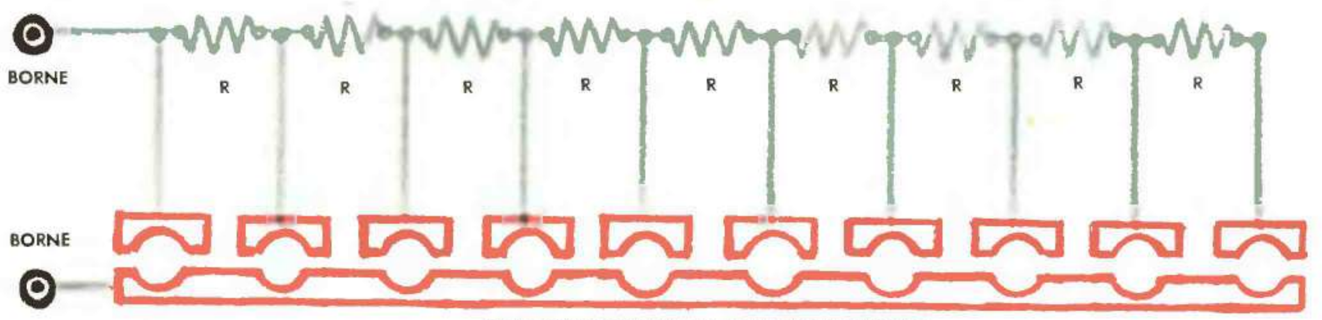
o grupos de diez fichas que pueda tener la caja.

A continuación ofrecemos algunos consejos para conservar las cajas de resistencias:

1. Revisión periódica de los contactos. Conviene limpiarlos siempre que sea necesario.

2. Tarado periódico de las resistencias comparándolas con patrones estables.

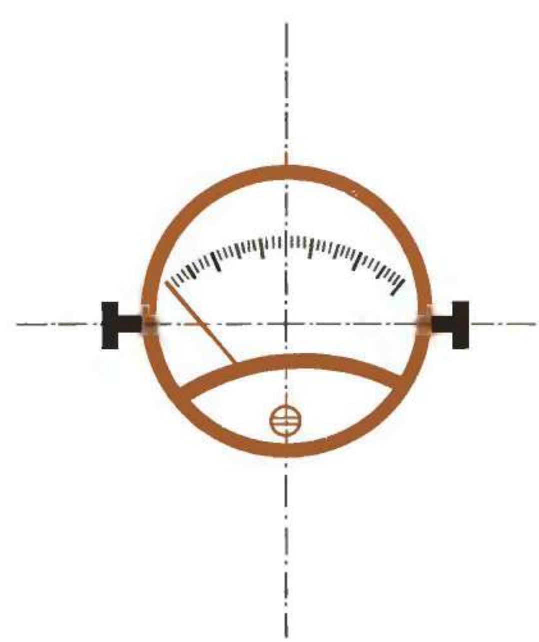
3. Medir la resistencia residual de la caja, con todos los conmutadores en la posición 0, comparándola con el valor indicado por el constructor.



Esquema de una década de resistencia cuyos contactos se establecen por fichas y una clavija de bronce.

ELECTROMETRIA

Medición de intensidades en c. c.
Aparatos de lectura directa
Medición de potencias en c. c.
Medición de resistencias.
Ohmetros y megóhmetros



LECCION Nº 3

electrometría

3

Medición de intensidades, tensiones y potencias en corriente continua

MEDICION DE INTENSIDADES EN C.C. INTENSIDADES COMPRENDIDAS ENTRE 1 μ A Y 100 A

La medición de este orden de intensidades por lo general se efectúa con instrumentos de lectura directa: microamperímetros, miliamperímetros o amperímetros, según la cuantía de la intensidad a medir. Es obvio decir que escogeremos el *shunt* necesario de acuerdo con el valor que deseamos poder cuantificar *a fondo de escala*.

La máxima precisión alcanzada en lecturas de este tipo es de 0'2 a 0'1 %. Digamos que la precisión de un instrumento de lectura directa aumenta cuando se trata de un aparato con aguja de gran longitud, que puede abarcar un arco de mayor longitud barriendo un ángulo más cerrado. Las divisiones de la escala pueden ser más precisas, y al mismo tiempo se evita que los muelles antagonistas quizás trabajen demasiado forzados.

En instrumentos diseñados para alcanzar gran precisión (acostumbran ser de gran tamaño), la aguja se sustituye por un sistema de indicación óptica similar al que citábamos al tratar de los galvanómetros en general. Entre los detalles que pueden consignarse en estos instrumentos cabe distinguir la forma en que está dibujada la escala. Vea ese fragmento de gran escala que añadimos a título informativo.

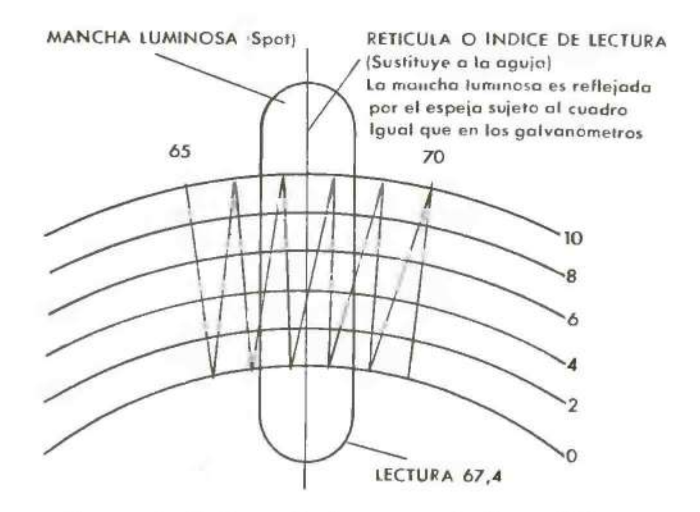
Antes de entrar en el estudio de la medición de grandes intensidades citemos las principales causas por las que un instrumento de cuadro móvil puede dar lecturas erróneas.

a) CONTACTOS DEFECTUOSOS EN LOS BORNES DEL INSTRUMENTO O EN LAS CONEXIONES DEL SHUNT en caso de su existencia en el circuito. Se aconseja emplear bornes roscados, mucho más eficaces que las bananas y clavijas normales. Se comprende que en mediciones que exigen la mayor precisión los cables de conexión del *shunt* se habrán tarado; es decir, conoceremos su resistencia, como un dato más a manejar en nuestros cálculos.

b) CAMPOS MAGNÉTICOS PARÁSITOS debidos a la proximidad de imanes, líneas de tracción de c.c., cubas electrolíticas y cuantos circuitos pueden



Miliamperímetro y voltímetro, clase 0'2: error de 0'2 % de la desviación total de la escala. Es un aparato de bobina móvil para corriente continua.



Fragmento de la escala de un aparato de precisión. La lectura indicada en este ejemplo, sería de 67'4 (microamperios, miliamperios... depende del instrumento, claro).

crear un campo magnético incontrolado. Una pantalla de chapa magnética y la existencia de un fuerte campo en el exterior del motor del instrumento son un eficaz remedio a esta causa de error.

c) REPERCUSIÓN DE LOS CAMBIOS DE TEMPERATURA, sobre el mismo instrumento o sobre sus accesorios (*shunt*, conexiones, etc.).

d) LA RESISTENCIA INTERNA, nunca despreciable, del aparato. Este factor influye en el error sobre todo cuando se trata de medir corrientes débiles, engendradas por fuerzas electromotrices del orden de 1 mV. Deberá operarse con instrumentos cuya resistencia interna se adapte al circuito de utilización.

MEDICION DE LAS CORRIENTES DE GRAN INTENSIDAD

En ciertos tipos de instalaciones —de las que son ejemplo las que se destinan a procesos de electrolisis en laboratorios o industrias, las que sirven para la obtención de fuertes campos magnéticos (estudio de fenómenos magnéticos, magneto-ópticos o nucleares) y las instalaciones para soldadura eléctrica— es necesario medir intensidades elevadísimas, superiores a los 1000 A. Se comprende que tales corrientes requieren un trato especial y que su medición necesita un tipo de *shunt* que se aparte de la normal.

Uno de los inconvenientes que deben eliminarse es el calentamiento, el cual, en corrientes de gran intensidad, depende de variaciones de la tensión que en corrientes normales son prácticamente despreciables en relación a la variación de la potencia consumida.

Se comprende:

Un *shunt* para 1000 A consume 100 W cuando la tensión en sus bornes es 0'1 V. Este *shunt*, a 0'1 V, se enfría fácilmente con el simple contacto con el aire.

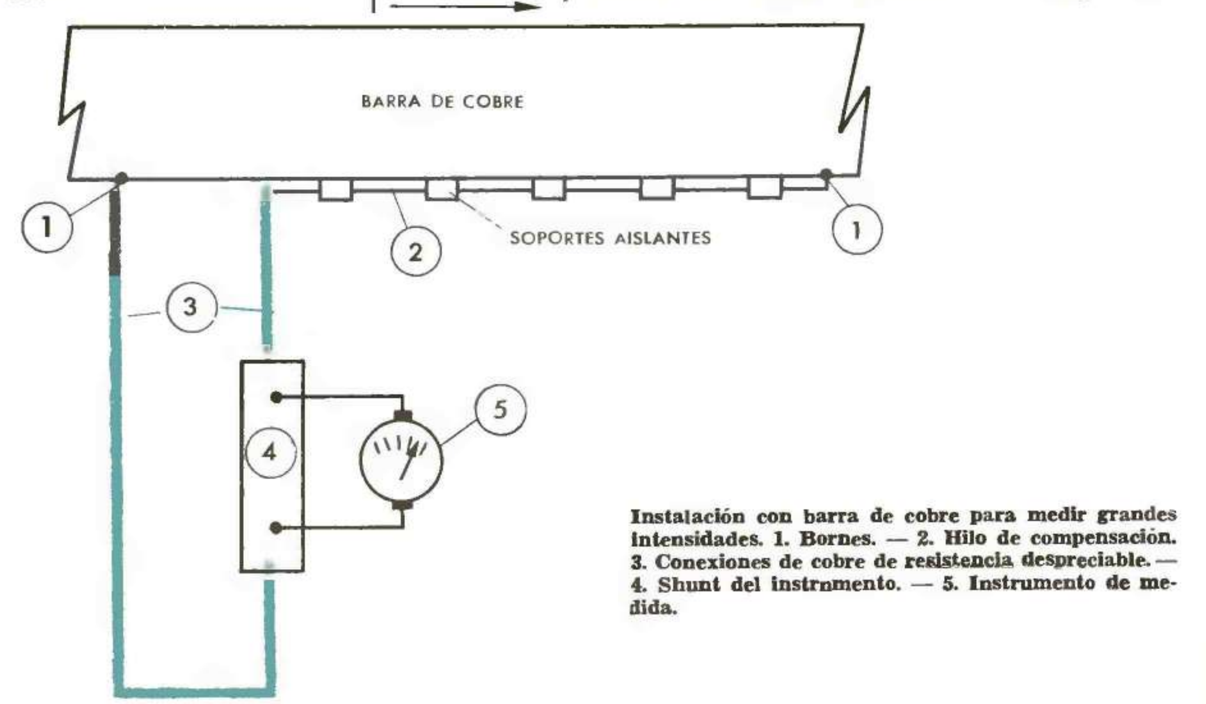
Pero si este mismo *shunt* está recorrido por la misma corriente de 1000 A, pero con una tensión de 5 V, la potencia consumida será de 5 KW. El enfriamiento es más problemático.

Imagine un *shunt* para 50.000 A y 0'1 V de tensión en sus bornes. Este *shunt*, pese a la tensión insignificante, consume también 5 KW. Sin refrigeración artificial, este *shunt* alcanzaría unas dimensiones inaceptables en la práctica.

Por otra parte, el funcionamiento a temperaturas elevadas puede provocar un régimen de medidas inestable. El calentamiento de las piezas de contacto puede motivar fenómenos parásitos capaces de afectar la lectura de 0'1 a 0'2 % por grado de temperatura.

En mediciones de este tipo, el instrumento debe colocarse distanciado del *shunt*, si bien será necesario tarar las conexiones entre ambos elementos.

Cuando pretendemos medir grandes intensidades sin precisión mayor del 2 al 5 %, podremos prescindir del *shunt*, utilizando en su lugar una



Instalación con barra de cobre para medir grandes intensidades. 1. Bornes. — 2. Hilo de compensación. 3. Conexiones de cobre de resistencia despreciable. — 4. Shunt del instrumento. — 5. Instrumento de medida.

barra de cobre que no hace necesario interrumpir el circuito para efectuar la medición.

Dos tomas atornilladas o soldadas sobre la barra, con una separación de 1 m, proporcionan una d.d.p. de algunas decenas de mV, suficiente para lograr que derive hacia el instrumento una corriente proporcional a la que atraviesa la barra de cobre.

Este sistema tan sencillo tiene el inconveniente del alto coeficiente de temperatura del cobre, que obliga a utilizar un hilo compensador (también de cobre) cuya resistencia es unas tres veces mayor que la resistencia interna del instrumento de medida utilizado.

Vea la figura que esquematiza una conexión de este tipo.

La corriente a medir I atraviesa la barra de cobre, cuya resistencia es prácticamente nula, y provoca entre los puntos 1 una caída de tensión proporcional a la corriente. Esta caída es la que acusa el instrumento.

La caída que provoca a 50° C una densidad de corriente de 1 A/mm² es de 20 mV entre dos puntos separados 1 m entre sí.

Cuando la temperatura de la barra aumenta, sube también la tensión entre los puntos 1; pero, al mismo tiempo, el hilo compensador gana en resistencia en la misma proporción, quedando compensado el aumento de la temperatura, que de otra forma perturbaría la lectura.

La distancia entre la barra y el instrumento depende, sobre todo, de la sensibilidad que éste tenga ante las corrientes parásitas. Es prudente utilizar un instrumento provisto de pantalla magnética.

Este dispositivo debe tararse o contrastarse con una corriente conocida fácilmente medible con un amperímetro y *shunt* de 500 a 1000 A.

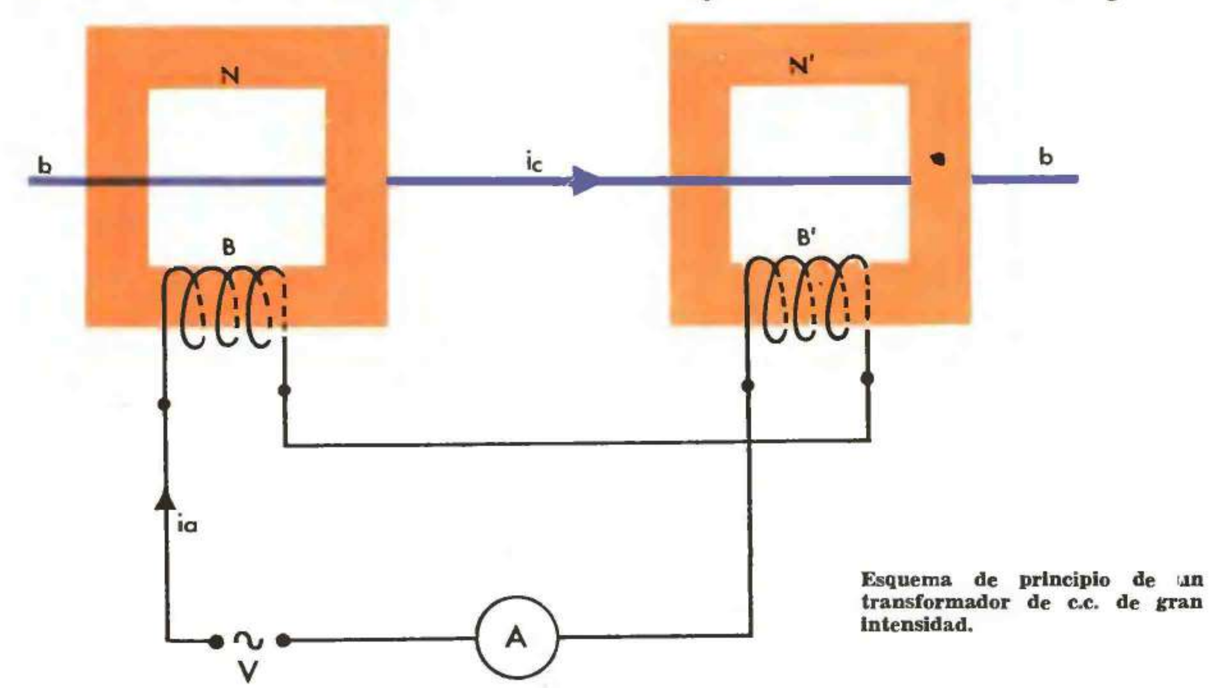
MEDICION DE GRANDES CORRIENTES CON APARATOS DE LECTURA DIRECTA

La necesidad de efectuar mediciones en diferentes puntos de un circuito exige el uso de instrumentos que no precisen ser tarados en el lugar donde van a ser requeridos. Esta necesidad, que tan fácil solución tiene en corrientes de amperaje normal, requiere soluciones de cierta complicación cuando se trata de grandes intensidades.

Una de las soluciones consiste en hacer actuar el campo magnético creado por una barra sobre el instrumento de medida, el cual deberá contener cierta cantidad de hierro. Se utiliza la perturbación producida por el campo magnético (que será proporcional a la corriente a medir) para cuantificar su amperaje.

Este procedimiento, empero, resulta muy incómodo por la complejidad de los fenómenos que en él intervienen.

Otra técnica seguida para cubrir la necesidad que comentamos es la de los amplificadores magnéticos, que ha desarrollado el método siguiente:



Esquema de principio de un transformador de c.c. de gran intensidad.

Dos núcleos idénticos N y N', provistos de sendos arrollamientos también idénticos (B y B') alimentados en oposición de fase, están atravesados por una barra *b* a través de la cual circula la corriente continua que deseamos medir.

Los dos devanados B y B' se alimentan con la tensión alterna de V voltios que proporciona una intensidad alterna i_a. En este circuito se intercala, el amperímetro, en cuya escala, debidamente graduada, efectuaremos la lectura.

La inductancia total resulta suficiente para que la desviación del amperímetro debida a i_a sea insignificante. Pero la corriente continua i_c crea una inducción continua que satura los núcleos. Su presencia contribuye a disminuir considerablemente la inductancia de las bobinas; entonces, la corriente magnetizante que afecta al instrumento de medida toma valores apreciables, proporcionales a la intensidad de la corriente i_c.

Es decir: el valor de i_a depende del valor de i_c; de ahí que si se gradúa convenientemente la esfera del instrumento las lecturas corresponden directamente a valores de i_c.

El alcance de medidas con estos dispositivos es de 300 a 100.000 A, con un amperímetro normal como instrumento de medida.

MEDIDA DE TENSIONES EN CORRIENTE CONTINUA

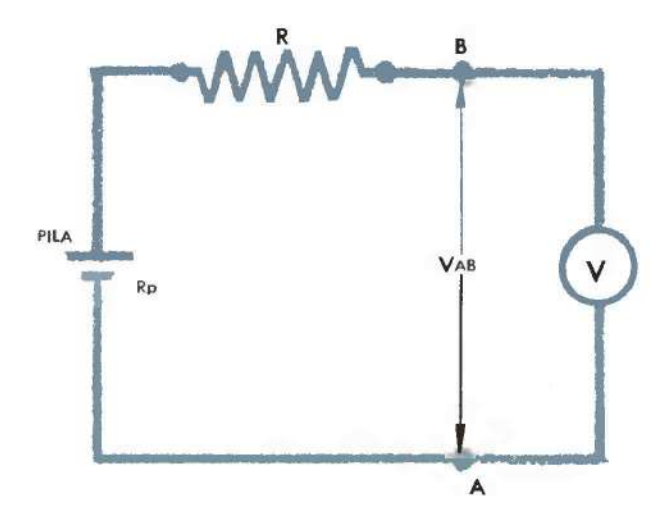
Empecemos por decir que un instrumento de lectura directa de resistencia interna r_i, la que provoca una caída de tensión v, cuando esté conectado entre dos puntos A y B de un circuito (vea el esquema) indica una diferencia de potencial que viene dada por esta expresión:

$$V = V_{AB} \frac{r_i}{r_i + R_{AB}}$$

En ella es: V = lectura; V_{AB} = d.d.p. existente en A y B; r_i = resistencia interna del instrumento; R_{AB} = resistencia total del circuito, que a su vez es igual al valor R de la resistencia propia del circuito más el valor R_p o resistencia interna del generador.

Esta igualdad nos hace ver que la lectura sólo será igual a la tensión existente entre los puntos en que se efectúa la medición cuando r_i sea considerablemente mayor que la resistencia total del circuito R_{AB}. Sólo así la fracción $r_i/r_i + R_{AB}$ se acerca a la unidad.

La corrección de consumo es del 0'2 % cuando r_i es igual o mayor que 500 veces R_{AB}.



Medición de la diferencia de potencial V_{AB} entre dos puntos A y B de un circuito de corriente continua. Para esta medición debemos considerar las magnitudes siguientes: r_i=resistencia interna del aparato. v=caída de tensión del aparato. R_p=resistencia interna de la pila. R=resistencia de carga.

Medidas de tensión en c.c. de 1 mV a 1000 V

Para medir tensiones comprendidas entre 1 mV y 1000 V se utilizan instrumentos de cuadro móvil. Se presentan dificultades cuando se trata de circuitos de gran resistencia, en los cuales la potencia alcanza valores similares al del consumo del aparato. En estos casos deben utilizarse voltímetros electrónicos.

En estos casos, como es lógico, se utilizarán resistencias adicionales, que normalmente se fabrican para ser empleadas en la medición de tensiones de 1000 a 50.000 V.

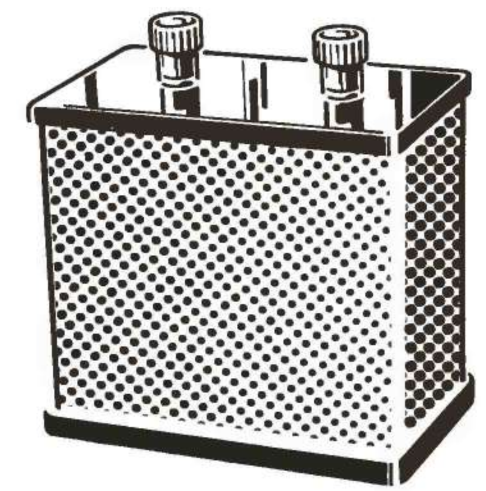


Resistencias adicionales AEG para medir tensiones en c.c.

La manipulación de estas resistencias de alta tensión debe hacerse con precaución extremada.

También pueden emplearse voltímetros electrostáticos. Se trata de aparatos portátiles de manejo bastante fácil y de consumo prácticamente nulo, cosa que los hace adecuados para medir tensiones elevadas. Añadimos la representación ideal del mecanismo de uno de estos instrumentos, cuyo alcance cubre de 0 a 100.000 voltios.

El fundamento de este aparato está en la ley de atracción y repulsión de las cargas eléctricas; más concretamente, en la atracción de las armaduras de un condensador cargado.



Para aparatos portátiles

Para montaje en cuadro

BORNE A.T.
RESISTENCIA DE PROTECCION
COJINETE (rubí)
PIVOTE
ESCALA
ESPIRAL
LENTE
ESPEJO
BOMBILLA
AMORTIGUADOR

Representación ideal de un voltímetro electrostático.

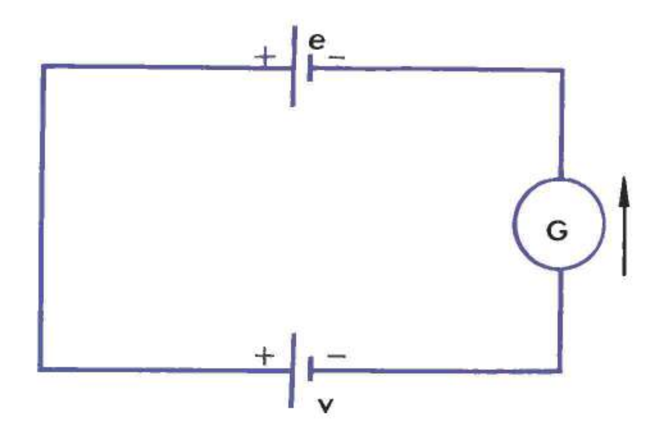
MEDICION DE CORRIENTES Y TENSIONES CONTINUAS POR EL METODO DE OPOSICION

Se trata de un método (cuyo esquema simplificado puede ver aquí mismo) que opone una diferencia de potencial V a la d.d.p. o caída de potencial a medir en los extremos de una resistencia tarada. En nuestro esquema llamamos V a la d.d.p. conocida y e a la caída que deseamos medir.

La d.d.p. V es regulable con facilidad gracias a una resistencia variable. Cuando las d.d.p. V y e son iguales, el galvanómetro estará en cero; lo cual, dicho en pasiva, significa que cuando el galvanómetro indique cero se habrán igualado los valores V (conocido) y e (desconocido).

Acabamos de decir que para la regulación de la tensión V se utilizan resistencias variables. Tales resistencias reciben el nombre de potenciómetros. Se trata, en realidad, de dos resistencias cuyo valor puede variar, pero cuya suma es constante. La versión más simple de un potenciómetro está formada por una resistencia bobinada de valor conocido, sobre la cual se desliza un cursor con un tercer borne de conexión.

Veamos ahora el esquema completo para la medición de tensiones por el método de oposición, que, como puede apreciar, consigue que el galvanómetro se ajuste a cero, haciendo variar el valor de las resistencias R_0 y R_1.

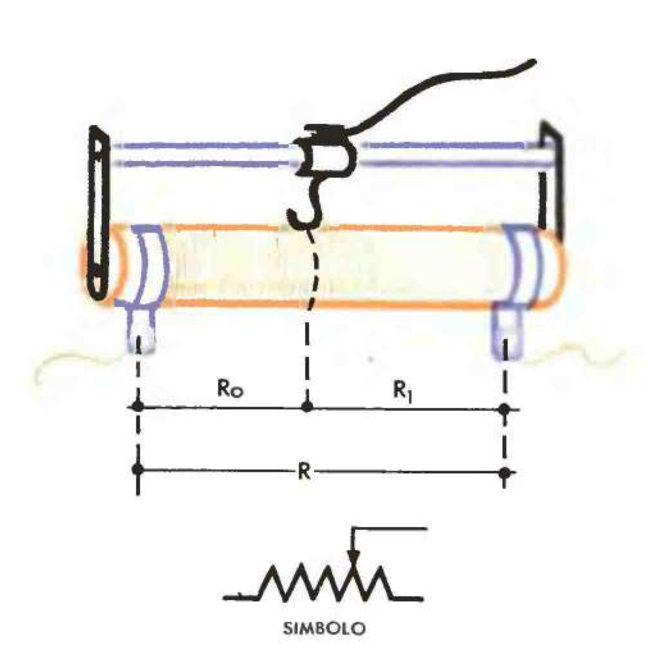


Esquema simplificado del método de oposición. Para $e=V$, se cumple que $i=0$.

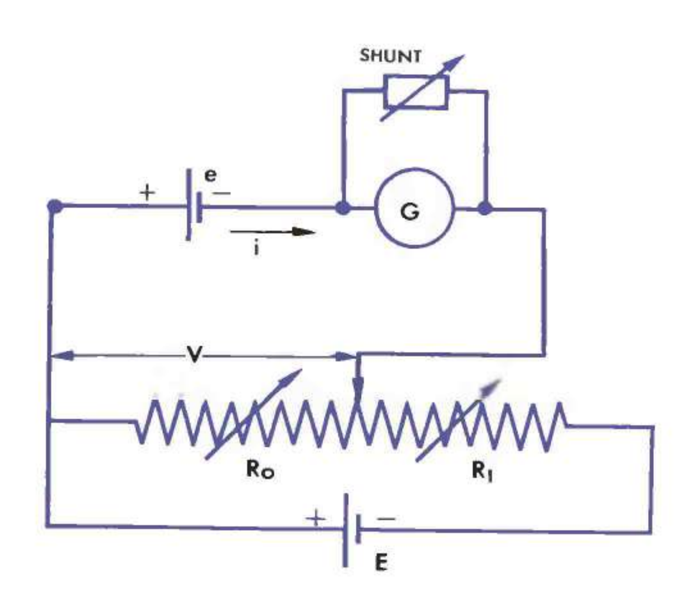
Cuando las resistencias de este montaje son tales que el galvanómetro señala el cero, se cumple la siguiente igualdad:

$$e = V = E\frac{R_0}{R_0 + R_1}$$

Es evidente, pues, que conociendo E y tarando las resistencias del galvanómetro podemos conocer el valor de la f.e.m. incógnita e.



Esta podría ser la versión simple de un potenciómetro.



Esquema del montaje de un potenciómetro para medir una f.e.m. por el método de oposición.

MEDIDAS DE POTENCIA EN CORRIENTE CONTINUA

Supongamos que una f.e.m. E alimenta un receptor a través de una línea bifilar (dos hilos) cuya resistencia es *r*. La potencia V × I consumida en R puede medirse con el montaje que representa el siguiente esquema.

Una vez conocidas I y V_1 (por lectura directa), la potencia P debe calcularse aplicando esta sencilla fórmula:

$$P = V_1 \quad I - \frac{V_1}{r_1}$$

Otro sistema de medir la potencia es el de los dos voltímetros, cuyo esquema de montaje proporcionamos acto seguido. Uno de los voltímetros se conecta a los extremos de una resistencia conocida R_0. Digamos, generalizando, que su lectura da una d.d.p. de V voltios. El otro voltímetro, conectado a los extremos de la resistencia R que motiva la operación, da una lectura de V voltios. Conociendo las resistencias interna r_i y r_i' de los dos instrumentos, la potencia absorbida por R está dada por esta fórmula:

$$P = \frac{U \times V}{R_0} \times \frac{r_i + R_0}{r_i} - \frac{V^2}{r_i'}$$

Actualmente disponemos de aparatos de lectura directa para la medición de potencias. Son los vatímetros, que en su modalidad de electromagnéticos permiten mediciones en c.c. con una precisión de 0'5 % y un alcance hasta 100 A.

Su aplicación más específica está en los casos en los que la carga varía con rapidez haciendo imposible una medición por los métodos descritos, que siempre resultan más laboriosos.

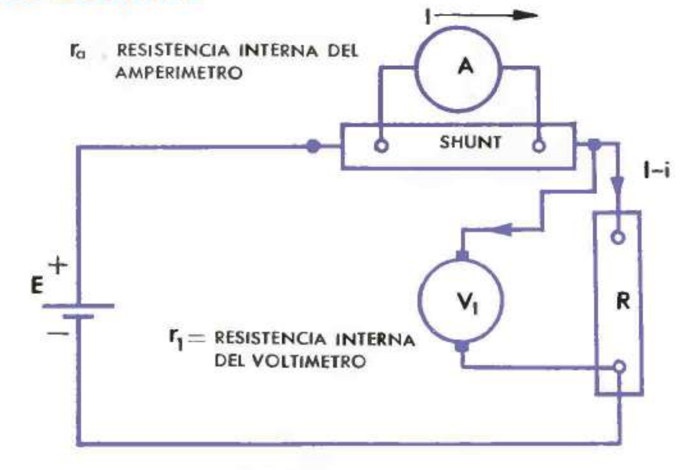
Vea el esquema de principio de uno de estos aparatos.

El fundamento teórico en que se basan es el siguiente:

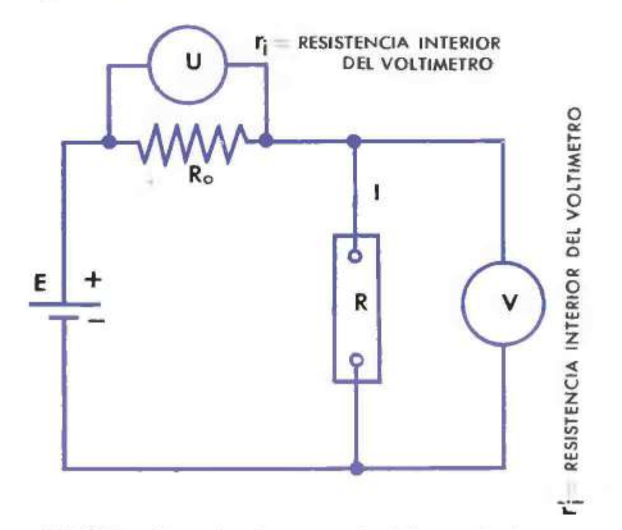
En el interior de una bobina de campo (fijo) recorrida por la corriente de la línea, puede girar una bobina móvil recorrida por una corriente de intensidad proporcional a la tensión de la línea, y que, por lo mismo, dependerá de la carga a ella aplicada.

Es lógico que el momento de giro resultante de la intensidad del campo magnético (proporcional a la corriente de la línea) y de la corriente de la bobina móvil (proporcional a la tensión) representa la potencia absorbida por la carga, la que podemos leer directamente sobre una esfera graduada.

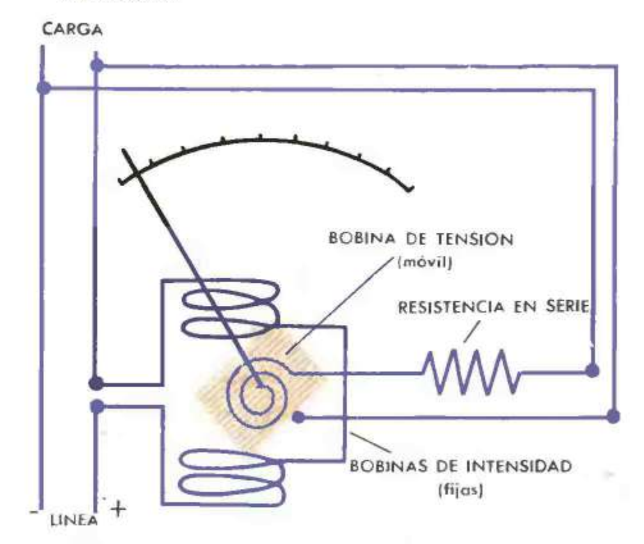
Los muelles en espiral que se emplean para llevar la corriente a la bobina móvil sirven al mismo tiempo como antagonistas del par de giro.



Esquema del montaje que permite calcular la potencia absorbida por una resistencia R alimentada por una f.e.m. E.



Medición de potencias por el sistema de los dos voltímetros.



Esquema de principio de un vatímetro electromagnético.

MEDICION DE RESISTENCIAS EN CORRIENTE CONTINUA

En c.c. el valor de una resistencia desconocida puede hallarse por lectura directa en un óhmetro o bien por cálculo, previo el conocimiento de la caída de tensión que provoca en sus bornes una corriente de intensidad y duración compatibles con la conversación en perfecto estado de la resistencia ensayada.

Veamos primero los métodos de lectura indirecta, para pasar luego al estudio de los galvanómetros.

METODO DEL VOLTIMETRO Y DEL AMPERIMETRO

Este método está fundamentado en la ley de Ohm. Consiste, simplemente, en medir la caída de tensión en los bornes de la resistencia desconocida, sabiendo la intensidad que por ella circula.

El esquema corresponde al montaje del circuito que permite conocer el valor de la resistencia X por el sistema o método de caída de tensión o, como hemos enunciado, por el método del voltímetro y del amperímetro.

Leeremos la intensidad I y la tensión V; luego, según Ohm, el valor de X' será:

$$X' = \frac{V}{I}$$

Pero observe que este valor X no es exactamente el valor de la resistencia, sino que comprende también el valor r_i de la resistencia interna del amperímetro. Por ello hemos denominado X' y no X al valor encontrado, porque es:

$$X' = X + r_i$$

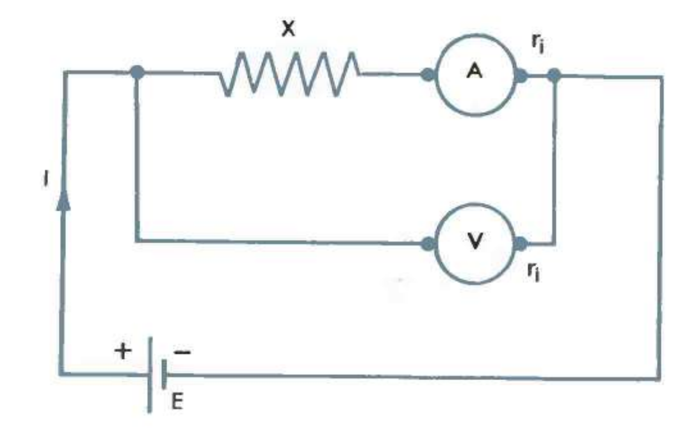
lo que nos permite hallar inmediatamente X si no se conoce la resistencia interna del amperímetro:

$$X = X' - r_i$$

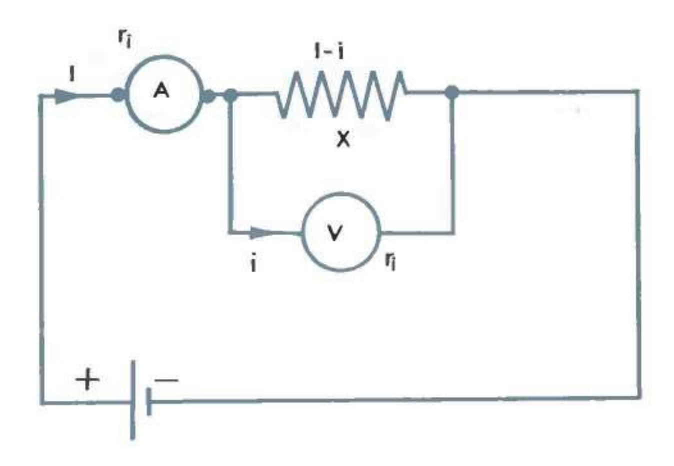
No es éste el único montaje que puede utilizarse. Vea el segundo esquema de este apartado.

Este montaje da el valor de la resistencia equivalente al sistema formado por X y r_i en paralelo. Por tanto, el valor de X será:

$$X = \frac{V}{I} \quad 1 + \frac{V}{r_i\, I}$$



Medición de una resistencia X por el metodo del voltímetro y del amperímetro.



MEDICION DE RESISTENCIAS POR EL METODO DE AJUSTE CON EL PUENTE DE WHEATSTONE

El puente de Wheatstone está formado por tres resistencias variables conocidas y por la resistencia incógnita. Las cuatro resistencias quedan conexionadas según demuestra el esquema de dicho puente de Wheatstone que adjuntamos a continuación.

Las resistencias variables R, R_1 y R_2 son, como hemos dicho, datos conocidos. La resistencia R_x es la incógnita cuyo valor deseamos conocer.

Para efectuar la medición, se ajustan las resistencias variables hasta conseguir que el galvanómetro se ajuste a cero; cuando el sistema alcanza

esta condición, el valor de R_x está dado por esta expresión.

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} \times R$$

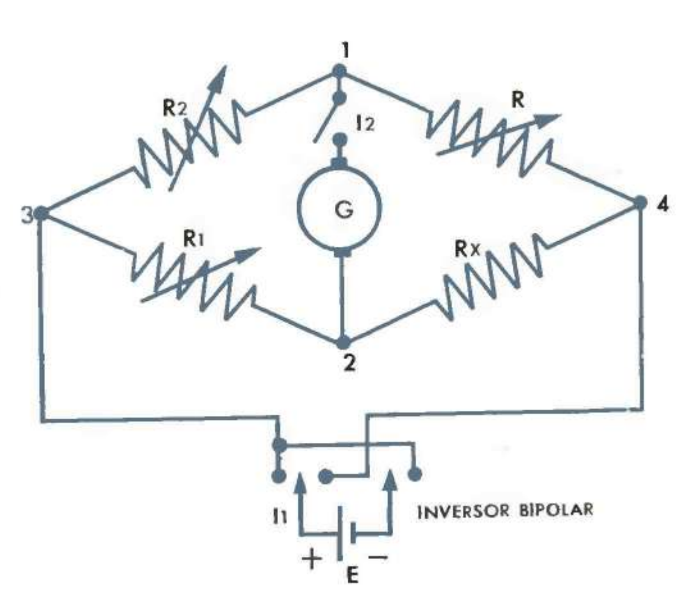
El inversor I_1, afecto a la batería que alimenta el sistema, debe cerrarse, siempre, antes que el interruptor I_r que cierra el circuito sobre el galvanómetro. Es una providencia que debe tomarse para proteger el galvanómetro de posibles sobreintensidades que transitoriamente pueden darse si la resistencia R_x a medir resultase tener propiedades inductivas.

Los puentes de Wheatstone se construyen en modelos muy diversos. En algunos casos, las resistencias R, R_1 y R_2 son resistencias bobinadas calibradas con valores múltiples de 10, cosa que facilita de modo extraordinario el cálculo. Estas resistencias se ponen en circuito mediante interruptores o clavijas.

En otros puentes sólo es variable una de las tres resistencias conocidas; las otras dos se ajustan a valores fijos.

Digamos también que el galvanómetro y la pila o batería pueden incluirse en el mismo *mueble* que alberga el puente, o bien pueden ser accesorios fácilmente acoplables a él.

Los puentes de Wheatstone son apropiados para medir resistencias cuyo valor esté comprendido entre 1 Ω y 1 MΩ. Entre estos límites, con puente de buena calidad pueden obtenerse medidas con un error de 0'1 %.



Esquema del puente de Wheatstone.

Las resistencias pueden disipar 1 W sin sobrecalentarse, aunque es prudente evitar que la intensidad de la corriente suministrada por la batería resulte excesiva.

OHMETROS

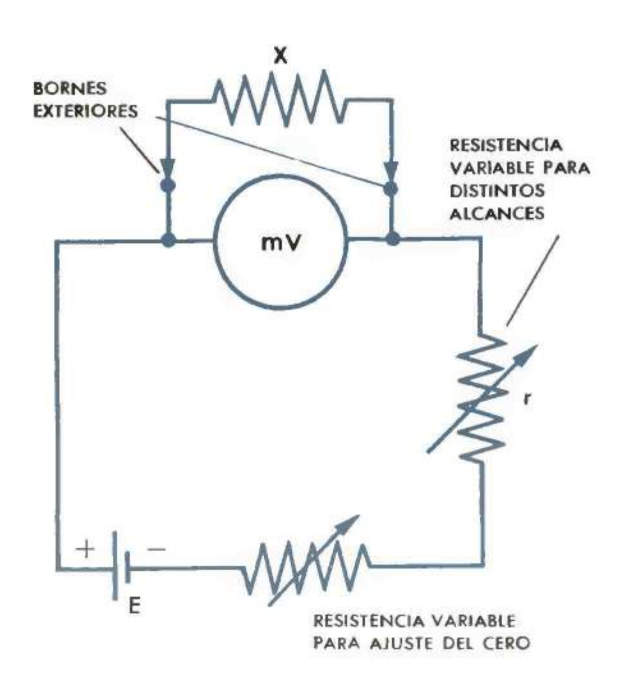
Etimológicamente, será un óhmetro todo aparato destinado a dar el valor en ohmios de una resistencia eléctrica. Sin embargo, en términos profesionales, entendemos por óhmetro al instrumento de medida portátil cuya escala da una lectura directa del valor óhmico de una resistencia.

El instrumento de medida de un óhmetro acostumbra ser un aparato de cuadro móvil (un milivoltímetro) con una escala (o varias escalas para alcances distintos) calibrada en ohmios. Este instrumento se intercala en un circuito en el que, fundamentalmente, se incluye una batería que proporciona la corriente necesaria para alimentar el circuito y afectar la resistencia a medir; y dos resistencias variables, una para compensar el desgaste de la batería y ajustar a cero la aguja del instrumento y otra que, al variar en su valor, permite obtener distintos alcances del instrumento.

El instrumento de un óhmetro puede estar colocado en el circuito en dos montajes distintos.

1. Montaje en paralelo

El esquema inmediato muestra las particularidades de este montaje.



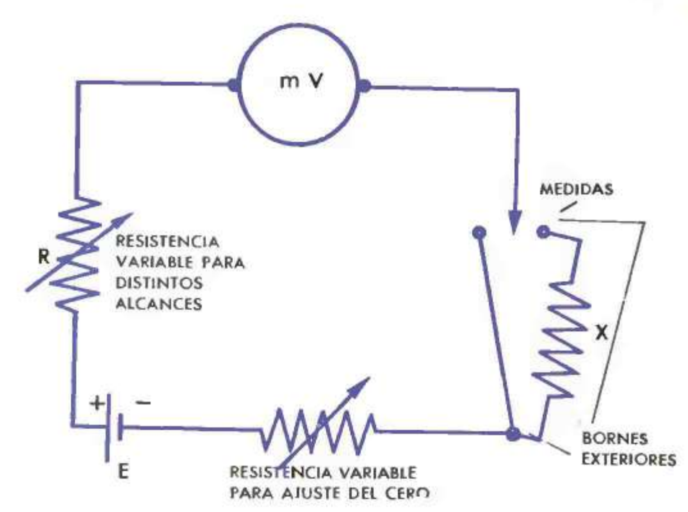
Esquema de un óhmetro según un montaje en paralelo.

2. Montaje en serie

Vea el esquema de este montaje, donde el instrumento queda en serie con la resistencia a medir.

Vea un modelo de óhmetro. Para ajustarlo a cero —cosa que debe hacerse antes de cada medición, puesto que varía de acuerdo con el alcance escogido y con el desgaste de la pila— se ponen en contacto los dos bornes exteriores (puntas de prueba) y se regula el potenciómetro —0— hasta conseguir que la aguja se detenga sobre el cero de la escala graduada.

El otro mando corresponde al conmutador de alcances. Con él se ponen en circuito los *shunts* necesarios para conseguir que el valor de resistencia medido resulte igual a la lectura multiplicada por 10, por 100, por 1000, etc.



Ohmetro con el instrumento en serie con la resistencia a medir.

INSTRUMENTOS UNIVERSALES DE MEDIDA

Como su nombre indica, se trata de aparatos que pueden medir distintas magnitudes con un mismo instrumento. Pueden medir corrientes y tensiones continuas; y también corrientes y tensiones alternas gracias al rectificador de selenio que llevan incorporado. Funcionan también como óhmetros a pila.

A título de ejemplo, reproducimos un téster fabricado en Milán por la firma ICE. En este modelo los distintos alcances no se consiguen con un conmutador, sino por medio de distintas hembrillas donde situar las puntas de prueba. Es una solución que prefieren muchos profesionales por causa de la mayor sencillez del circuito.

Tratándose de aparatos cuyas particularidades dependen del criterio del fabricante, es lógico que se suministre un folleto de instrucciones para su correcto manejo y conservación.





Fotografía de dos instrumentos universales de medida. El de la izquierda (fabricación italiana) consigue los distintos alcances mediante hembrillas. El de la derecha es un instrumento japonés cuyos distintos alcances se establecen por medio de un conmutador.

MEDICION DE RESISTENCIAS COMPRENDIDAS ENTRE 10 Ω Y 1 MΩ

Vamos a dar noticia, sin entrar en demostraciones, de los sistemas que se utilizan para la medición de pequeñas resistencias. Esta noticia consistirá en darle el esquema y nombre del montaje, así como la fórmula que proporciona el valor de la resistencia incógnita.

1. Método del voltímetro y del amperímetro

$$X = \frac{V}{I}\left(1 + \frac{V}{r_i\ I}\right)$$

2. Puente de Thomson

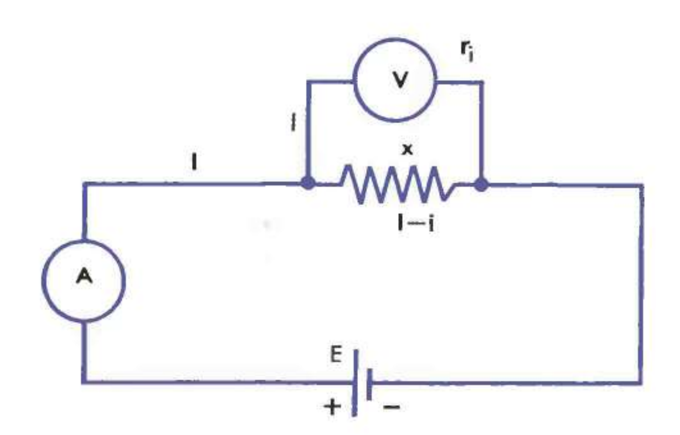
$$X = \frac{m}{n}\,r + \frac{r_c}{n} \times \frac{m_p - n_o}{o + p + r_e}$$

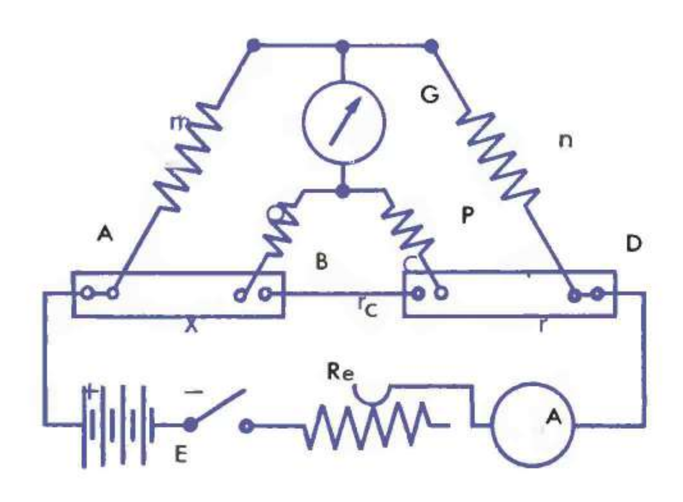
3. Puente doble de Kelvin

$$X = \frac{m}{n}\,r + \frac{r_c}{n} \times \frac{m_p - n_o}{o + p + r_e}$$

Como puede ver, la fórmula es igual que la de Thomson. Se trata de dos sistemas prácticamente iguales.

Cuando se analizan resistencias de bajo valor la conexión r_c puede tener una resistencia igual o mayor que la que se analiza. Entonces el segundo

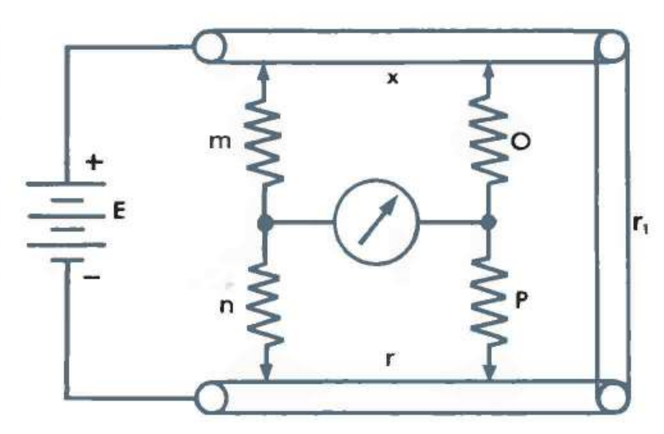




término de la derecha de la ecuación anterior puede tener importancia; pero si puede hacerse que la relación m/o sea igual a n/p (m/o = n/p) este segundo término desaparece (se cumple que m_p — — n_o = 0) y el valor de r_c no ejerce influencia.

La igualdad m/o = n/p puede comprobarse abriendo la conexión r_c una vez el galvanómetro marca cero. Si dicha igualdad existe, la aguja permanecerá en cero. Entonces la fórmula queda reducida a:

$$X = \frac{m}{n} \times r$$



MEDIDIDAS DE RESISTENCIAS SUPERIORES A 1 M

MÉTODO DE COMPARACIÓN

Este sistema utiliza un galvanómetro sensible provisto de un *shunt* universal y una resistencia bobinada R de 1 MΩ. Adjuntamos el esquema del circuito.

Para efectuar una medición procederemos del modo siguiente:

1. Leemos la desviación del galvanómetro. Vamos a decir, para generalizar, que esta desviación señala un valor *n*, con un poder multiplicador del *shunt* igual a *m*, cuando el conmutador C está conectado a X.
2. Conectaremos C a la resistencia R y procederemos a leer el galvanómetro y el poder multiplicador del *shunt*. Digamos que las lecturas son n' y m'.
3. El valor de la resistencia X viene dado por esta ecuación:

$$X = R \left(\frac{m'}{m}\right) \left(\frac{n'}{n}\right)$$

Esto se cumplirá siempre que la tensión V sea rigurosamente constante e igual para las dos lecturas efectuadas.

MEGOHMETROS

Para la lectura rápida de grandes resistencias (para la verificación de aislamientos, por ejemplo) se emplean aparatos de medida que reciben el nombre de megóhmetros.

Los más utilizados son los MEGÓHMETROS A MAGNETO, en los cuales la tensión aplicada a la resistencia se genera con una dínamo magnetoeléctrica accionada por medio de una manivela.

El esquema que acompaña estos párrafos corresponde al circuito típico de un megóhmetro. La escala del instrumento (generalmente de aguja) está graduada en MΩ. La escala se habrá diseñado para una tensión determinada que depende, como es natural, de la velocidad de rotación del inductor de la magneto. Por tal razón los buenos megóhmetros llevan un regulador de velocidad que desembraga en caso de exceder de la calculada, ya que la lectura carece de sentido si la tensión no es constante.

TIERRA

PULSADOR DE TARADO

INSTRUMENTO DE CUADRO MOVIL

RESISTENCIA DE PROTECCION R

MANIVELA

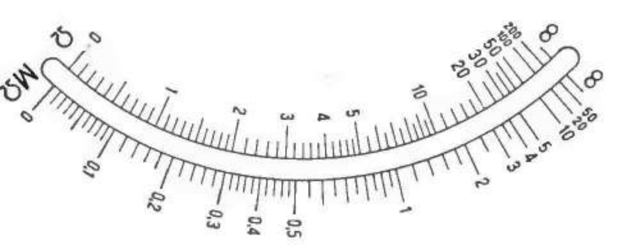
MΩ

x

N

S

Esquema de un megóhmetro.



Escala graduada de un megóhmetro.



Vea, finalmente, la fotografía de un megóhmetro que puede trabajar con dos tensiones (500 V y 1000 V) y que está preparado para medir resistencias bajas en cuatro alcances, desde 0'1 hasta 200.000 Ω.

Este libro
se terminó de imprimir
el día 20 de Junio de 1970



electricidad teorico-práctica

Como complemento de la enseñanza propiamente eléctrica, este Método comprende una serie de materias de vital importancia para la formación del técnico en electricidad. Gracias a ello, permite capacitarse como técnico completo, de modo que sea capaz de planear y resolver la instalación eléctrica de una vivienda, así como reparar un aparato electrodoméstico o localizar cualquier avería en la parte eléctrica de un automóvil.

Estas materias se han agrupado en cinco apéndices repartidos a lo largo del Método, en forma de series de lecciones sobre temas concretos: Apéndice I - Taller Mecánico; Apéndice II - Conocimiento de Materiales; Apéndice III - Fichas Técnicas; Apéndice IV - Electrometría; Apéndice V - Soluciones-tipo.

La serie *Taller Mecánico* facilita al lector estudioso una idea perfecta de las características y posibilidades de todas las máquinas y herramientas que pueden necesitarse en un proceso de fabricación o reparación de las distintas piezas que forman parte de un aparato o máquina eléctrica. Este conocimiento de causa permite discutir con los expertos mecánicos en debida forma; comentar, rectificar, decidir, en una palabra, lo que conviene o no en un trabajo.

La serie *Conocimiento de Materiales* es una ayuda extra para el experto en Electricidad. El profesional necesita conocer las posibilidades de cada uno de los materiales que emplea en su labor; esta serie de lecciones le proporciona ese conocimiento y le permite usar cada uno de ellos en el lugar adecuado y en las mejores condiciones de rendimiento y utilidad.

La serie *Fichas Técnicas* es un elemento de consulta de primer orden. Contienen una serie de datos técnicos que suelen consultarse con frecuencia y que difícilmente se encuentran a mano en un taller ordinario. Constituyen una herramienta de trabajo práctica y útil.

La serie *Electrometría* aporta los datos indispensables para cálculos, medidas y referencias de utilidad durante la labor previa a realizar cuando se inicia el estudio de algún proyecto.

Finalmente, el apéndice correspondiente a la serie *Soluciones-tipo* aporta al técnico en Electricidad el fruto de la experiencia de auténticos expertos conocedores de los problemas prácticos de la profesión. La labor diaria demuestra que el profesional se enfrenta frecuentemente con problemas que se repiten una y otra vez... Disponer de antemano de la solución ahorra tiempo y esfuerzos, evita toda posibilidad de error e incrementa la productividad del operador. En definitiva, permite un mayor crédito y una sensación de seguridad en el profesional.

El Método, en su conjunto, es una garantía de eficacia. Pensado por expertos que han palpado las realidades de cada día en el taller, es fruto de la experiencia y el conocimiento de la técnica... y del hombre.

Con este Método aspiramos a proporcionar una verdadera carrera gracias a la cual sea posible situarse brillantemente en la vida como técnico en electricidad, capaz de ocupar un lugar destacado en cualquier nivel profesional que se elija. Este Método proporciona a la persona interesada una metodología que aporta conocimientos sólidos y *completos* sobre su profesión. El Plan de Estudios cubre una verdadera necesidad en el campo de la enseñanza de la Electricidad. Abarca una serie de disciplinas a cuál más importante dentro del campo profesional y técnico, permitiendo enfrentarse con éxito con todos los problemas profesionales: Electrotecnia, instalaciones, prácticas; oficina técnica, electrometría, taller mecánico; matemáticas, geometría; conocimiento de materiales...

A través de una metodología tan amplia y completa, es posible adquirir unos conocimientos suficientemente desarrollados sobre cada especialidad y de ese modo abordar todos los problemas que se presentan en la profesión.

Gracias a la orientación dada al método, éste facilita los medios para adquirir todos los conocimientos que necesita un técnico en electricidad *completo*: Instalaciones eléctricas; tracción; producción de energía eléctrica, transformación y transporte; líneas de alta y baja tensión; telecomunicación; refrigeración; luminotecnia; aparatos electrodomésticos; electricidad del automóvil...

En su conjunto, este Método responde a una orientación didáctica de última hora. Tanto su contenido como su exposición y desarrollo son lo último en materia de enseñanza. Todo lo que se puede explicar gráficamente halla su aclaración en dibujos, viñetas, esquemas, imágenes en negro y color. Los autores, asimismo, se han esmerado en proporcionar al alumno un texto ameno, claro, directo, que haga fácilmente comprensibles todas las teorías, todos los problemas. La profusión de ilustraciones sumamente explícitas, la clara exposición de las teorías en feliz conjunción con su demostración gráfica y la posibilidad de experimentar por sí mismo, convierten este Método en algo muy distinto a un libro de texto. Es una verdadera enciclopedia sobre electricidad que no tiene par en el mercado.

El método AFHA de

electricidad teórico-práctica

comprende los siguientes títulos:

Tomo I **Fundamentos de electrotecnia**

Tomo II **Electroquímica. Electromagnetismo. Instalaciones domésticas**

Tomo III **Corriente alterna. Principios de máquinas de c.c. y de c. a. Instalaciones industriales**

Tomo IV **Transformadores. Máquinas eléctricas de c.c. y c.a.**

Tomo V **Canalizaciones eléctricas. Líneas y centrales Telecomunicaciones alámbricas**

Tomo VI **Luminotecnia. Técnicas de la iluminación**

Tomo VII **Electricidad del automóvil**

Tomo VIII **Aparatos electrodomésticos**

---

ediciones 

barcelona